

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## **Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Red de Fibra Óptica entre Desaguadero y Moquegua.**

Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería de las  
Telecomunicaciones

**AUTOR: Edwin Gabriel Gutiérrez Villagómez**

**ASESOR: M.S. /M.E. Patricia Díaz**

**LIMA – JULIO, 2014**

# Índice

Índice de figuras .....	5
Índice de tablas.....	7
Glosario .....	10
Resumen .....	12
Introducción .....	14
Capítulo 1: Marco Teórico.....	15
1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2 Tecnologías para la construcción de redes de transporte.....	21
1.2.1 Capas de las redes ópticas de transporte .....	23
1.2.2 Características de una red óptica de transporte.....	23
1.2.3 Transporte de paquetes de datos .....	25
1.2.4 Funcionamiento de las redes ópticas de transporte.....	25
1.2.5 Arquitecturas de Red.....	28
1.2.6 Características de las redes DWDM .....	29
1.2.7 Parámetros a ser considerados para el diseño del sistema DWDM .....	31
1.2.8 Protección para supervivencia .....	32
1.2.9 Fibra Óptica .....	33
1.2.10 Tipos de instalación.....	36
1.2.11 Topología de Red.....	38
Capítulo 2: Perfil y Descripción de la Infraestructura de la red de transporte de Datos del Estado Plurinacional de Bolivia.....	40
2.1 Datos Generales .....	40
2.1.1 Geografía Económica .....	40
2.1.2 Estimación de la Población por Departamento.....	41
2.1.3 Número de Viviendas .....	41
2.1.4 Tipo de Gobierno.....	42
2.2 Comunicación .....	42
2.2.1 La estructura del sector de las telecomunicaciones en Bolivia.....	42
2.2.2 Telecomunicaciones.....	43

2.3 Estado actual de la Telecomunicaciones en Bolivia. ....	43
2.3.1 Evolución de la líneas de Banda Ancha Fijas .....	43
2.3.2 Evolución de líneas de telefonía básica.....	46
2.3.3 Evolución de los servicios móviles.....	46
2.4 Estado futuro de la Telecomunicaciones en Bolivia.....	50
2.4.1 Demanda estimada de Banda Ancha Internacional .....	50
Capítulo 3 Panorama de Infraestructura de Transporte de Datos en Perú .....	53
3.1 Geografía y demarcación geopolítica .....	53
3.1.1 Ubicación y superficie.....	53
3.2 Estado actual de las Telecomunicaciones en Perú .....	53
3.2.1 Red de Transmisión de Datos Nacional.....	53
Capítulo 4 Diseño de la red de transporte entre Desaguadero y Moquegua .....	62
4.1 Consideraciones Generales de Diseño .....	62
4.2 Descripción del Proyecto.....	63
4.3 Propuesta del Tramo de Red de Fibra .....	66
4.4 Factores de Diseño Para la Red DWDM .....	67
4.4.1 Descripción de las características de la fibra óptica.....	67
4.4.2 Fibra comerciales actuales .....	68
4.4.3 Equipos DWDM comerciales .....	70
4.4.4 Cálculo del presupuesto de Potencia .....	70
4.4.5 Pérdidas.....	72
Pérdidas en la fibra.....	73
Pérdidas en conectores .....	73
Pérdidas en los empalmes.....	73
4.5 Permisos .....	78
4.5.1 Derechos y Servidumbres de Paso .....	78
4.5.2 Normas, Códigos de Construcción y Cumplimiento .....	78
4.5.3 Impacto Ambiental.....	79
4.6 Estándares de Servicio .....	79
4.6.1 Requisitos de Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS).....	79

4.6.2 Interrupciones de Servicio.....	79
4.7 Arquitectura Física de la Red .....	79
4.7.1 Empresas Eléctricas y sus Rutas .....	79
4.7.2 Red Vial / Construcción de Postes “Dedicados” (“Purpose-Built”).....	82
4.8 Instalación de Plantas Externas .....	82
4.8.1 Nodos .....	82
Disposiciones Generales.....	82
Nodos Core.....	85
Capítulo 5 Evaluación Económica y Financiera del Proyecto.....	86
5.1 CAPEX y OPEX .....	86
5.2 Flujo de Ingresos y Egresos para el Proyecto de Tramo de Fibra Óptica entre Moquegua y Desaguadero.....	91
5.2.1 Ingresos .....	91
5.2.2 Egresos.....	93
5.2.3 Flujo de Caja Variable.....	95
5.3 Precio Social.....	96
5.4 Análisis de Sensibilidad.....	96
Conclusiones y Recomendaciones .....	102
Referencias Bibliográficas.....	103
Anexos.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1.1 Penetración de Usuarios de Internet en 2011	16
Figura 1.2 Tarifas de Banda Ancha Fija	17
Figura 1.3 Velocidad de Conexión de Banda Ancha en el 2012	18
Figura 1.4 Porcentaje de Conexiones de Banda Ancha	18
Figura 1.5 Banda Ancha Conectado a Través de EEUU	19
Figura 1.6 Ejemplo de Estructura de una Red Óptica de Transporte	21
Figura 1.7 Independencia de la Capa de Transporte de una Red de Fibra Óptica	22
Figura 1.8 Capas de una Red Óptica de Transporte	23
Figura 1.9 Arquitectura de una Red de Fibra Óptica	29
Figura 1.10 Esquema Básico de un Sistema DWDM	29
Figura 1.11 Detalle de una Transponder	30
Figura 1.12 Fibra Óptica Multimodo	33
Figura 1.13 Fibra Óptica Monomodo	34
Figura 1.14 Descripción de una Fibra Óptica	34
Figura 1.15 Fibra Óptica con Índice Gradual	35
Figura 1.16 Longitudes de Onda	35
Figura 1.17 Atenuación	36
Figura 1.18 Topologías Lógica y Física de una Red Óptica	39

### Capítulo 2

Figura 2.1 Salidas Internacionales de Interconexión de Internet de Bolivia	44
Figura 2.2 Cables Submarinos de América del Sur	45
Figura 2.3 Conexiones de Banda Ancha por Departamento en Bolivia	47

Figura 2.4 Renta Mensual del Servicios de Internet – Banda Ancha Fija	48
Figura 2.5 Comparación entre Países de la Región	50
<b>Capítulo 3</b>	
Figura 3.1 Evolución de la Conexiones de Banda Ancha a nivel Nacional (Perú)	54
Figura 3.2 Red Nacional de Fibra Óptica y de Carreteras	56
Figura 3.3 Proyecto de Red Dorsal de Fibra Óptica	59
Figura 3.4 Cobertura Universal Sur proyectado a 2018	60
Figura 3.5 Interconexión de Bolivia por Territorio Peruano	61
<b>Capítulo 4</b>	
Figura 4.1 Descripción de Zona a Ser Intervenida	63
Figura 4.2 Puntos de Interconexión y Salida Internacional	64
Figura 4.3 Ruta Aproximada del Tendido de Fibra entre Moquegua y Desaguadero	65
Figura 4.4 Propuesta de Red Dorsal en la Zona de Estudio	66
Figura 4.5 Tipo de Pérdidas en Empalmes de FO	74
Figura 4.6 Mapa Parcial de la Ruta de Fibra Óptica	76
Figura 4.7 Segundo Tramo Correspondiente a Mazocruz – Desaguadero	77
Figura 4.8 Red Eléctrica Existente entre Moquegua y Puno	80
Figura 4.9 Red Eléctrica Perú Zona Sur	81
Figura 4.10 Despliegue Físico de la Línea de Fibra Óptica (Primer Tramo)	83
Figura 4.11 Despliegue Físico de la Línea de Fibra Óptica (Segundo Tramo)	84

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2

Tabla 2.1 Tasa de Crecimiento PIB de Bolivia	40
Tabla 2.2 Proyección de la Población total según grupos de Edad y Sexo	41
Tabla 2.3 Número de Viviendas por Censo y Tipo	41
Tabla 2.4 Datos de Tráfico de Interconexión Internacional	45
Tabla 2.5 Tarifas – Cargo Mensual Internet	47
Tabla 2.6 Distribución de Líneas Telefónicas Fijas en Servicio (Bolivia)	48
Tabla 2.7 Distribución de Líneas Telefónicas Móviles en Servicio (Bolivia)	49
Tabla 2.8 Conexiones de Internet a Nivel Nacional con Velocidades de Banda Ancha	49
Tabla 2.9 Conexiones a Internet a Nivel Nacional Fija	49
Tabla 2.10 Estimación del Tráfico Broadband para Bolivia	51

### Capítulo 3

Tabla 3.1 Capitales de Provincias sin Fibra Óptica	54
Tabla 3.2 Potencial de Banda Ancha	55
Tabla 3.3 Tendido de Fibra Óptica	55
Tabla 3.4 Nodos para Interconexión entre Proveedores	55
Tabla 3.5 Proyectos FITEL que permitirán el Despliegue de Banda Ancha	57
Tabla 3.6 Alcances Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica	58

### Capítulo 4

Tabla 4.1 Demanda Esperada	67
Tabla 4.2 Cálculo de Número de Hilos entre Moquegua y Desaguadero	67
Tabla 4.3 Detalle de Utilización por Hilos de Fibra Óptica	67
Tabla 4.4 Parámetros Característicos del Tramo de Fibra	68

Tabla 4.5 Lista de Proveedores Locales de Fibra Óptica	69
Tabla 4.6 Detalle de Lista de Equipos DWDM Locales	71
Tabla 4.7 Características Técnicas del (Multihaul 3000)	72
Tabla 4.8 Características de los Conectores SC	73
Tabla 4.9 Parámetros de atenuación de la Fibra para el Proyecto	74
Tabla 4.10 Pérdida del Enlace	75
Tabla 4.11 Pérdidas del Enlace (Moquegua-Majada Laitani)	75
Tabla 4.12 Pérdida del Enlace (Majada Laitani – Desaguadero)	78
<b>Capítulo 5</b>	
Tabla 5.1 Costo de Equipamiento Activo	87
Tabla 5.2 Costos Recurrentes por año para Equipos Activos	87
Tabla 5.3 Costo de Instalación de Fibra Óptica	88
Tabla 5.4 Costo de Construcción de Plantas Externas	88
Tabla 5.5 Detalle de Elementos de las Plantas Externas	89
Tabla 5.6 Costos de Interconexión	90
Tabla 5.7 Licencias y Software de Administración para el Tramo de FO	90
Tabla 5.8 Otros Gastos	90
Tabla 5.9 Población Económicamente Activa	91
Tabla 5.10 Costo de Internet en la Región	92
Tabla 5.11 Nuevo Costo de Internet	92
Tabla 5.12 Ingresos por Nuevos Clientes	93
Tabla 5.13 Amortización Deuda	94
Tabla 5.14 Flujo Impositivo	94
Tabla 5.15 Flujo Caja Variable	95
Tabla 5.16 Costo Promedio de Internet de la Región	96



Tabla 5.17 Flujo de Caja Variable Escenario 2	97
Tabla 5.18 Flujo de Caja Variable Escenario 3	98
Tabla 5.19 Flujo de Caja Variable Escenario 4	99
Tabla 5.20 Método Subasta Complementario al PERT Clásico	100
Tabla 5.21 Cálculo Promedio Ponderado y Desviación Estándar	101
Tabla 5.22 Rango de Confianza Método PERT	101



## GLOSARIO

ADSS	All Dielectric Self-Supporting (FO totalmente dieléctrico autoportado)
DWDM	Dense Wavelength División Multiplexing
FITEL	Fondo de Inversión en Telecomunicaciones del Perú
Gbit/s	Gigabit por segundo
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IRU	Derecho Irrevocable de Uso (Indefeasible Right of Use)
ISP	Proveedor de Servicios de Internet (Internet Service Provider)
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-T	Sector de Normalización de la UIT
IXP	Internet Exchange Point
Mbit/s	Megabit por segundo
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NAP	Punto de Acceso a la Red (Network Access Point)
NOC	Centro de Operaciones de la Red (Network Operations Center)
O & M	Operaciones y Mantenimiento (Operations and Maintenance)
OEO	Óptico-eléctrico-óptico (Optical-Electrical-Optical)
OSIPTEL	Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (el regulador del sector de telecomunicaciones del Perú)
OSS / BSS	Operations Support Systems / Business Support Systems
PSTN	Red Conmutada Pública (Public Switched Telephone Network)
STM-4	(Módulo de Transporte Síncrono-4): estándar de transmisión de la UIT, equivalente a una tasa de 622,080 Mbit/seg.
TDM	Multiplexación por División de Tiempo (Time Division Multiplexing)
TCAC	Tasa de Crecimiento Anual Compuesto (CAGR) en inglés.
UBIGEO	El sistema de codificación de ubicaciones geográficas del Perú utilizado por el Instituto Nacional de Estadística para codificar las subdivisiones administrativas de primer nivel (regiones), de segundo nivel (provincias) y de tercer nivel (distritos).
UNASUR	La unión intergubernamental que integra dos uniones aduaneras existentes, el MERCOSUR y la Comunidad Andina de Naciones (CAN), como parte del proceso continuo de integración sudamericana.

## Dedicatoria:

*Dedico esta Tesis a todas esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, confianza y paciencia, ahora me toca regresar un poquito de todo lo que me han dado. Con todo mi cariño esta tesis se la dedico a toda mi familia Walter, Amalia, Yovanca, Patricia, Viviana pero en especial a mi querida esposa e hija:*

*Claudia y Nerea*



## RESUMEN

Este trabajo intenta determinar la factibilidad económica de la construcción de un tramo de fibra óptica que atravesara territorio Peruano con el objetivo de brindar una alternativa rentable de interconexión de datos al mercado boliviano. De este modo diversificar la oferta de servicios de transporte internacional de datos permitiendo reducir el costo de acceso a internet para la población boliviana.

La velocidad de penetración de Internet de Banda Ancha y su difusión en la región se deben a varios factores uno de ellos es el costo por el servicio y su asequibilidad. Otro factor está relacionado con la calidad de las conexiones de banda ancha. En ambos casos un elemento común que juega un papel crucial son los enlaces internacionales de interconexión. Esto influye en la calidad de conexión tornándolos en retrasos para acceder a contenido local o externo, con el subsecuente impacto en el costo de los servicios, en la medida en que los enlaces internacionales pueden significar entre el 20% y el 40% de la tarifa de acceso [9] el despliegue de estos es fundamental y necesario en toda la región. Desde otro punto de vista se puede considerar a estos enlaces como los elementos que aproximen a los proveedores de internet (ISP) a los puntos de Interconexión (IXP) utilizando cables de fibra óptica de alta capacidad.

En el caso de países mediterráneos como Bolivia el problema se multiplica ya que la capacidad de interconexión de los proveedores de servicios de internet (ISPs Bolivianos) depende de la infraestructura desplegada en los países vecinos para acceder a estos IXPs.

Como se podrá observar en los siguientes capítulos hasta el día de hoy no hay suficientes alternativas para proveer de capacidad de transporte de interconexión +internacional que cubra la demanda actual pero sobretodo futura de Bolivia.

Para ello en los siguientes apartados se desarrollan diferentes ángulos de afrontar el problema y una serie de estrategias para brindar una alternativa económicamente factible, de este modo multiplicar el acceso internacional de datos en Bolivia. Dando mayor importancia al despliegue de fibra entre dos puntos (Desaguadero – Moquegua) en territorio Peruano para solventar la escases de oferta de interconexión previamente comentada.

Después de detallar la tecnología y describir el estado actual de las redes de interconexión y capacidad de transmisión de datos tanto peruana como la boliviana. Se presenta una propuesta de diseño de un enlace Punto a Punto con tecnología de Multiplicación WDM que permitirá integrar esta conexión con el resto de la red troncal de proveedores de capacidad establecidos en el Perú.

En los capítulos finales del documento se encuentra el análisis económico que intenta en su desarrollo justificar la inversión desde varios escenarios.

Finalmente en el último apartado se pueden leer las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros relacionados con el despliegue de este backhaul de interconexión.



## INTRODUCCIÓN

El internet ha transformado y lo continuara haciendo de forma acelerada a la economía y la sociedad del mundo. El uso transversal de esta tecnología, particularmente el de la banda ancha y sus aplicaciones, tienen efectos en el crecimiento económico, la productividad, el empleo y la calidad de vida de las personas.

En los últimos 10 años el número de servicios de Internet ha crecido de forma gradual. Pero de acuerdo a las estimaciones más recientes de la CEPAL [1] la demanda por servicios integrados se incrementara de forma acelerada en los próximos 5 a 10 años en toda la región (Latinoamérica y Caribe).

Múltiples estudios han demostrado el importante papel que juega la Banda Ancha en el desarrollo económico y social de los países en la actual sociedad del conocimiento. Por ejemplo, de acuerdo con un estudio reciente del Banco Interamericano de Desarrollo, un aumento del 10% en la penetración de servicios de Banda Ancha en la región lleva asociado un incremento promedio del 3,2% del Producto Interno Bruto (PIB), un aumento de la productividad de 2,6 % y la generación de más puestos de trabajo. [5]

Según el reporte del World Economic Forum WEF [4] donde se califica a 142 países en un ranking sobre aspectos de la Tecnología de Información e Infraestructura. Países como Perú, Venezuela, Paraguay y Bolivia se encuentran por debajo del puesto 100. De acuerdo a este informe esto se debe a varios factores, uno de ellos es la insuficiente inversión en infraestructura de comunicaciones desplegada en los estos países. Como consecuencia de este los costos de interconexión por tráfico de datos internacional son elevados.

Por otra parte, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [1] considera que el acceso y uso de Internet, en particular de Banda Ancha, son elementos claves para el desarrollo de las sociedades y economías modernas, dado que el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) condicionan la competitividad de los países y la inclusión social.

Es evidente por todo lo expuesto y respaldado que con la creciente demanda en los servicios de Internet es necesario contar con infraestructura que solvente este crecimiento de capacidad de datos. En la presente tesis nos enfocamos en determinar la factibilidad física y económica de construir un tramo de fibra (entre Desaguadero y Moquegua). Considerando aspectos tecnológicos, arquitectura de la red, la tasa de bit, limitaciones locales finalizando con un análisis del impacto en el precio final para los usuarios finales para el mercado boliviano.

## CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

El Internet continúa transformando aceleradamente la economía y la sociedad. La masificación y la adopción de la banda ancha basada en la interacción de varios elementos complementarios (capacidades, dispositivos, aplicaciones y redes de infraestructura) [3] han creado una industria que tiene impacto positivo en el crecimiento económico de los países. Iniciativas recientes en este campo van desde el análisis de grandes datos (big data analytics) hasta el desarrollo de redes inteligentes (Smart Grids). Estos son ejemplos de aplicaciones que requieren no solo altas capacidades de procesamiento si no también requieren capacidades de acceso a Internet por encima de lo que hoy algunos consideran como banda ancha.

Existe una fuerte correlación entre el incremento en la demanda de Internet y el precio de la banda ancha [15]. Gracias al avance de la tecnología este precio se ha visto reducido de forma continua. Esta reducción a su vez motiva a los desarrolladores a crear más aplicaciones que utilizan aún más recursos de banda ancha. Este ciclo además de ser positivo no parece que vaya a cambiar en un futuro cercano. Un ejemplo de ello es cuando las llamadas telefónicas se van abaratando, las personas pasan más tiempo en el teléfono [15].

Otro factor importante que causa cambios en esta industria es la regulación o la desregulación. Es bien sabido el hecho que los monopolios retrasan un rápido progreso debido a que toman mucho tiempo en adaptarse a los cambios y no tienen incentivos para reducir sus costos o incrementar su oferta de servicios. Desregular estos monopolios estimula la competencia en el mercado, lo que conlleva a una rebaja de los costos por sus servicios para los clientes finales. Esto también tiene un impacto en la creación de los nuevos servicios como de compañías que proveerán equipamiento a estas nuevas empresas.

Finalmente, el tráfico en una red es otro factor importante ya que en la actualidad está dominado por los datos en comparación con el tráfico de voz tradicional. En el pasado, sucedía lo contrario, por lo que las redes tradicionales se diseñaron para soportar eficientemente voz en lugar de los datos. Hoy en día, los servicios de transporte de datos son omnipresentes y son capaces de proveer calidad del servicio a aplicaciones sensibles al rendimiento, tales como voz en tiempo real y video.

Todos estos elementos expuestos han impulsado el desarrollo de las redes ópticas de alta capacidad y su notablemente rápida transición de los laboratorios de investigación a un despliegue comercial [15].

En la región (Latinoamérica) la demanda por el uso de Internet en los últimos años ha crecido de forma constante. A continuación se describe brevemente el estado actual de la infraestructura en Latinoamérica pero sobre todo lo que intentamos dar a conocer es la situación de Bolivia con respecto a otros países de la región para contextualizar la magnitud del problema que tiene el vecino país.

Como se puede apreciar la figura 1.1 muestra la penetración de usuarios de Internet como porcentaje de la población en países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico OCDE y de América Latina en porcentaje de la población

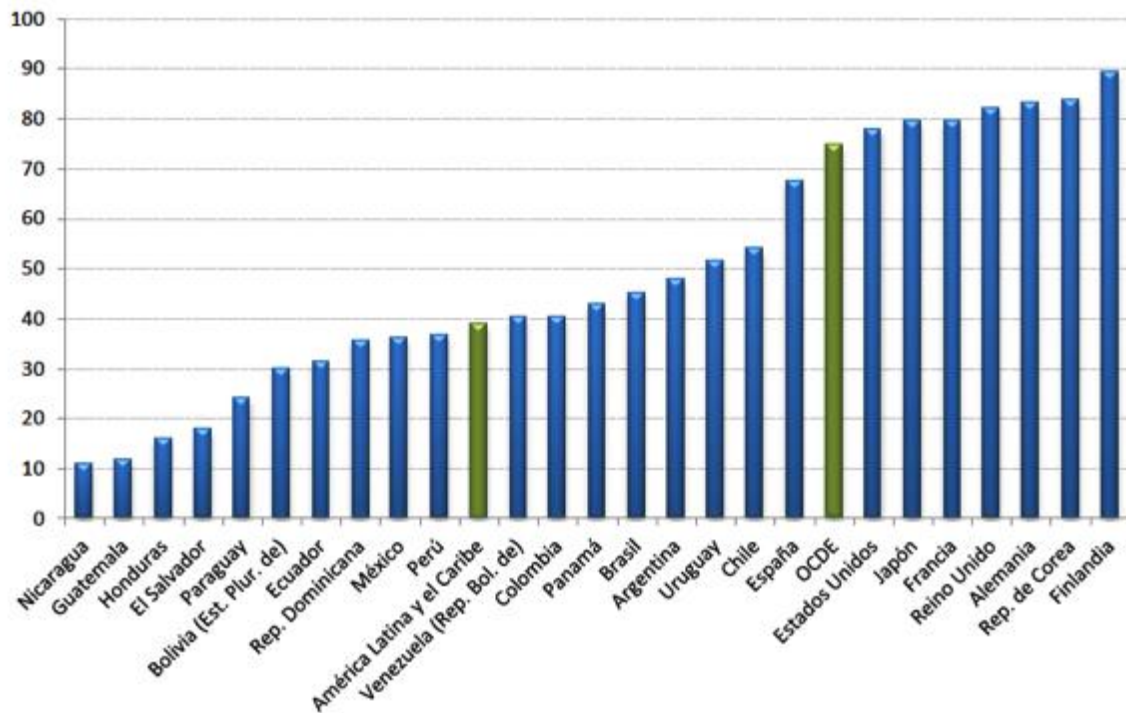


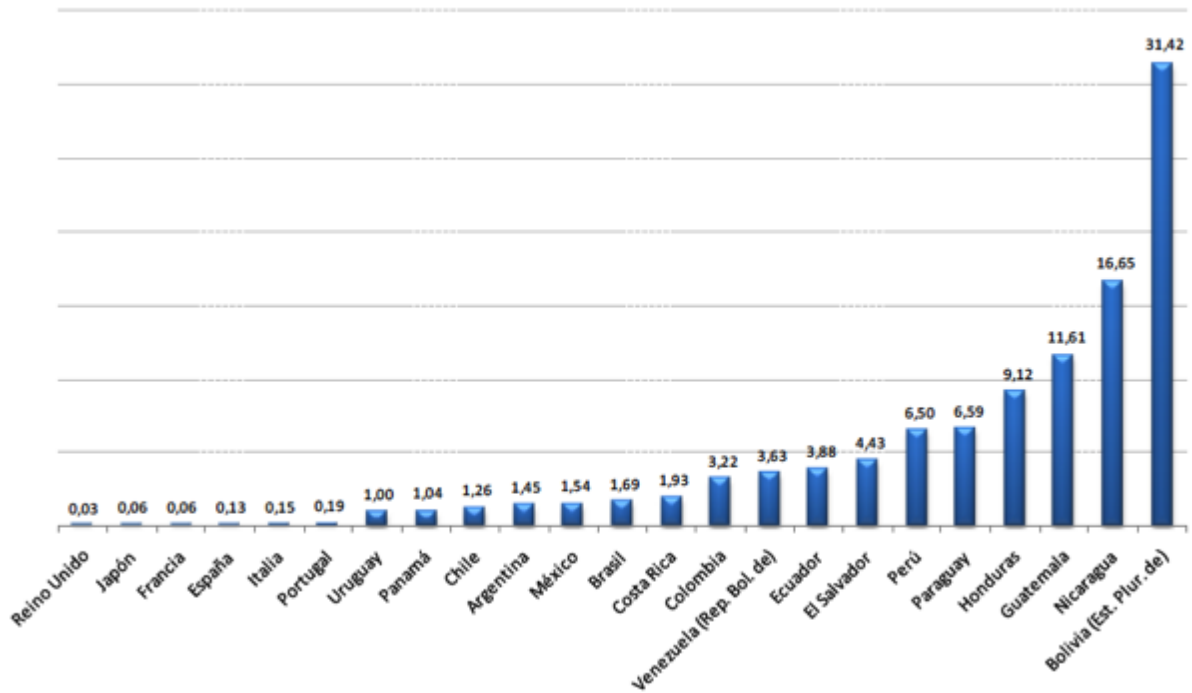
FIGURA 1.1

**PENETRACIÓN DE LOS USUARIOS DE INTERNET EN 2011**

FUENTE: CEPAL, CON DATOS DE LA UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (ITU), WORLD TELECOMMUNICATIONS INDICATORS DATABASE, 2013

Por el lado de la asequibilidad la figura 1.2 podemos ver la información sobre el costo del servicio de banda ancha fija de 1Mbps expresadas como porcentajes del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, es decir qué proporción del ingreso promedio debe destinarse para acceder al servicio.





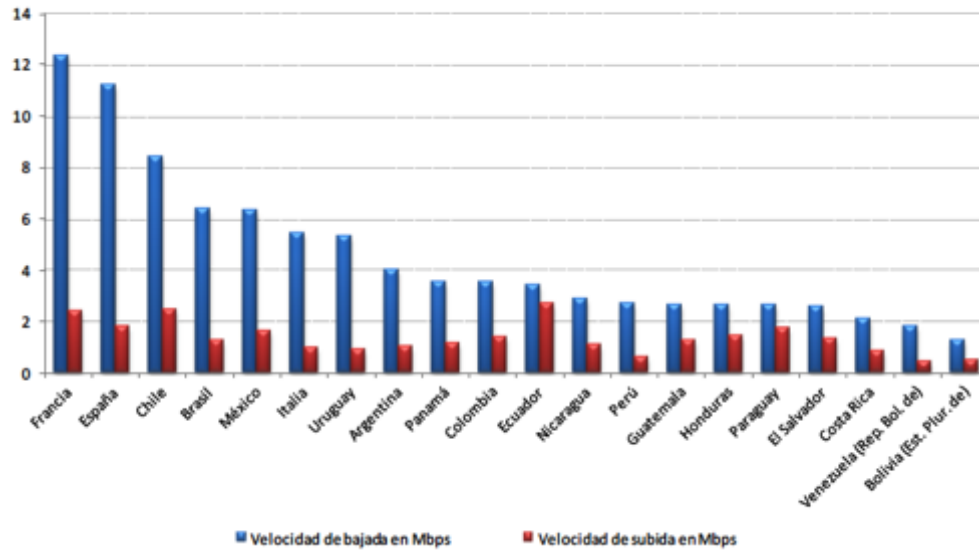
**FIGURA 1.2**

**TARIFAS DE BANDA ANCHA FIJA DE 1 MEGABIT POR SEGUNDO EN RELACION AL PIB PER CAPITA EN 2013**

FUENTE: OBSERVATORIO REGIONAL DE BANDA ANCHA (ORBA) DE LA CEPAL CON BASE EN TARIFAS PUBLICADAS POR LOS OPERADORES A SEPTIEMBRE DEL 2012.

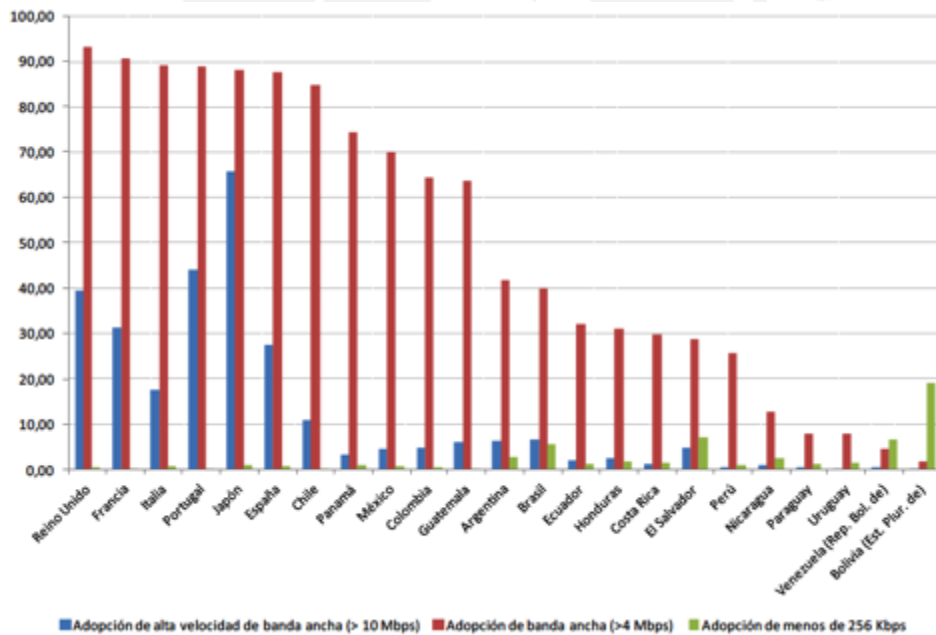
Desde el punto de vista de calidad de las conexiones de banda ancha, se toman como parámetros de referencia las velocidades de conexión de subida y de bajada ver figura 1.3 además se puede apreciar en la figura 1.4 la adopción de banda ancha de alta velocidad que determina a qué aplicaciones y servicios que se podrá acceder. Como se puede observar en el caso Boliviano tanto el canal de subida como de bajada es extremadamente pequeño respecto a países de la región y mucho más con el resto de países del mundo. En Bolivia lo que predomina son velocidades por debajo de los 256 kbps.

**Velocidades de conexión de banda ancha en 2012**



**FIGURA 1.3**  
**VELOCIDAD DE CONEXIÓN DE BANDA ANCHA EN 2012**  
(CANAL DE SUBIDA Y BAJADA)

FUENTE: OBSERVATORIO REGIONAL DE BANDA ANCHA (ORBA) DE LA CEPAL CON BASE A DATOS OOKLA EN SEPTIEMBRE 2012.

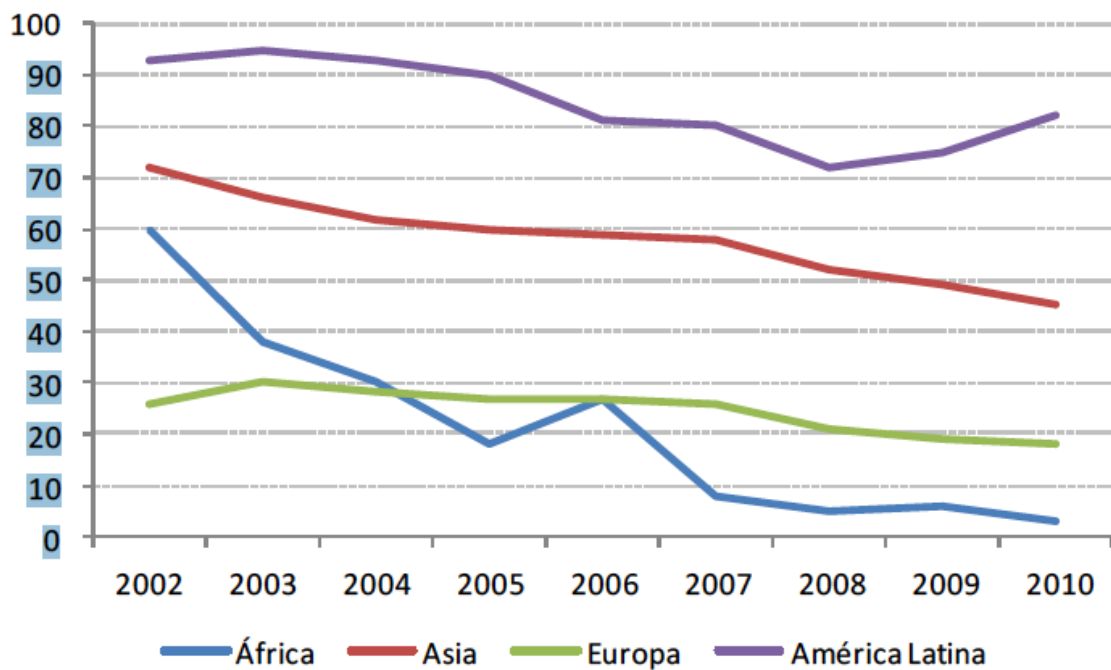


**FIGURA 1.4**  
**PORCENTAJE DE CONEXIONES DE BANDA ANCHA AGRUPADAS POR RANGOS DE VELOCIDAD**

FUENTE: OBSERVATORIO REGIONAL DE BANDA ANCHA (ORBA) DE LA CEPAL CON BASE EN DATOS DE AKAMI, SEPTIEMBRE 2012.

Finalmente otro elemento que tenemos que analizar en la región es el los enlaces internacionales ya que en ella se realizan a través de puntos de intercambio de tráfico (IXP) localizados en los Estados Unidos. En la figura 1.5 muestra la diferencia de

dependencia de este servicio respecto a otras regiones del mundo. El hecho de no contar con puntos de intercambio más cercanos en la región hace que todo el tráfico de datos e IP circule a través de los Estados Unidos de Norte América volviendo a este último ineficiente y costoso. Recientes iniciativas en la región se plantan la construcción de puntos de interconexión regionales. Vale mencionar que en junio de este año en Bolivia se ha iniciado un proyecto para solventar esta ineficiencia por lo que se ha propuesto la construcción de un punto de intercambio en las dos ciudades más grandes del país vecino. [21]



**FIGURA 1.5**  
**ANCHO DE BANDA CONECTADO A TRAVÉS DE ESTADOS UNIDOS**  
 FUENTE: TELEGEOGRAPHY, GLOBAL INTERNET BANDWIDTH, 2011.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el apartado anterior se puede observar que el Estado Plurinacional de Bolivia se encuentra desde el punto de vista de infraestructura de transporte de datos y comunicación muy por debajo de sus países vecinos y en particular en la región. Si bien también se mencionó que son varias las razones del porque Bolivia esta relegada en este tema estratégico.

Esta tesis trata de solucionar el siguiente problema:

“Incrementar la limitada oferta de transporte de capacidad e interconexión de datos internacional para el Estado Plurinacional de Bolivia”

De acuerdo a las recomendaciones de organismos internacionales una de las consecuencias de no contar con infraestructura se refleja en una escasa penetración de la Banda Ancha. La situación de los países de todos los tamaños y niveles de ingreso se enfrentan al creciente reto de sacar provecho a las telecomunicaciones [15].

El incremento de la penetración de internet/conexiones de Banda Ancha es clave para aprovechar el potencial de la tecnología de última generación. Aquellos países que no cuenten con estos sistemas se encuentran en desventaja con respecto a otros. De acuerdo a un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) explica que un aumento del 10% en la penetración de servicios de Banda Ancha en la Región está asociado un incremento promedio del 3.2% del Producto Interno Bruto (PIB) además de un aumento de la productividad de 2,6 % [10].

Como referencia según estudios de la CEPAL en 2011, los países de la región tienen una tasa promedio de penetración de banda ancha fija y móvil de sólo 8 y 11 abonados por cada 100 habitantes respectivamente, mientras que en los países de la OCDE la proporción es de 27 y 55 abonados por cada 100 habitantes (ITU, 2012), lo que sin lugar a dudas se relaciona con el costo de acceso a este servicio, que muestra un precio relativo que en muchos casos no es posible afrontar en Latinoamérica. Esto es evidente si consideramos el precio por acceder a una conexión de 1 Mbps (Megabit por segundo) con respecto al ingreso promedio del país [11]. En tal sentido llama la atención el alto costo relativo que deben afrontar algunos países de la región, en el caso de Bolivia cuyos usuarios deben dedicar en promedio un porcentaje muy elevado con relación a sus ingresos mensuales, lo que deja a una parte importante de la población sin la capacidad de uso y apropiación de los beneficio de las TIC y, por lo tanto, fuera de la sociedad de la información, incrementando aún más la diferencias al interior de sus economías. Si bien los costos relativos han experimentado una fuerte baja en los últimos años, los costos de utilización del servicio siguen siendo muy elevados, representando verdaderas limitaciones para toda la sociedad Boliviana afectando cada vez más a la Productividad, Generación de Puestos de Trabajo, Modernización del Estado, Incremento del Producto Interno Bruto y el desarrollo de la Sociedad de la Información.

La propuesta de esta tesis para solucionar el problema planteado es la construcción de una red de transporte a través del territorio peruano.

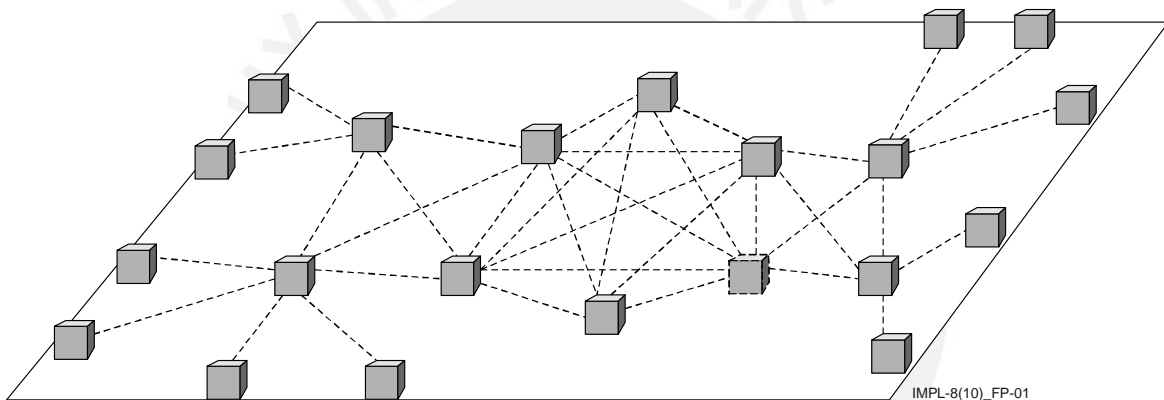
El objetivo específico es poder acercar a los proveedores de capacidad internacional que se encuentran en la costa peruana al altiplano boliviano.

Pero antes de plantear la solución de ingeniería en los siguientes apartados describimos el estado del arte en cuanto a tecnología de transporte de datos de altas prestaciones se refiere para luego continuar con la descripción del diseño de red.

## 1.2 TECNOLOGÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REDES DE TRANSPORTE

En esta sección se examina las tecnologías que se utilizan para construir las redes de ópticas de última generación.

Una red óptica de transporte está integrada por un conjunto de elementos ópticos de red (multiplexores por división de longitud de onda (WDM), amplificadores ópticos (OA), multiplexores ópticos de adición/supresión (OADM), transconexiones ópticas (OXC), etc.) conectados por medio de enlaces de fibra óptica y capaces de proporcionar funciones de transporte, multiplexación, encaminamiento, gestión, supervisión y supervivencia de los canales ópticos que transportan las señales clientes. Los elementos de la red óptica suelen ubicarse en nodos de red. En la figura 6 se muestra un ejemplo de la estructura de una red óptica de transporte.



**FIGURA 1.6**  
**EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE UNA RED ÓPTICA DE TRANSPORTE**  
FUENTE: REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE [28]

Una característica distintiva de una red óptica de transporte es su oferta de transporte para cualquier señal cliente, con independencia de los aspectos específicos del cliente, esto es, las funciones de una red óptica de transporte pueden ser independientes de la información característica de las señales cliente.

De hecho, las actuales redes ópticas de transporte (SDH y OTN) pueden servir de soporte a toda la gama de clientes de tecnología de conmutación: red telefónica pública conmutada (RTPC), red digital de servicios integrados (RDSI), voz y datos móviles, así como distintas tecnologías de datos y paquetes (modo de transferencia asíncrono (ATM), retransmisión de tramas (FR), protocolo Internet (IP), conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS) y Ethernet), sin ningún cambio de la tecnología de transporte (figura 1.7).

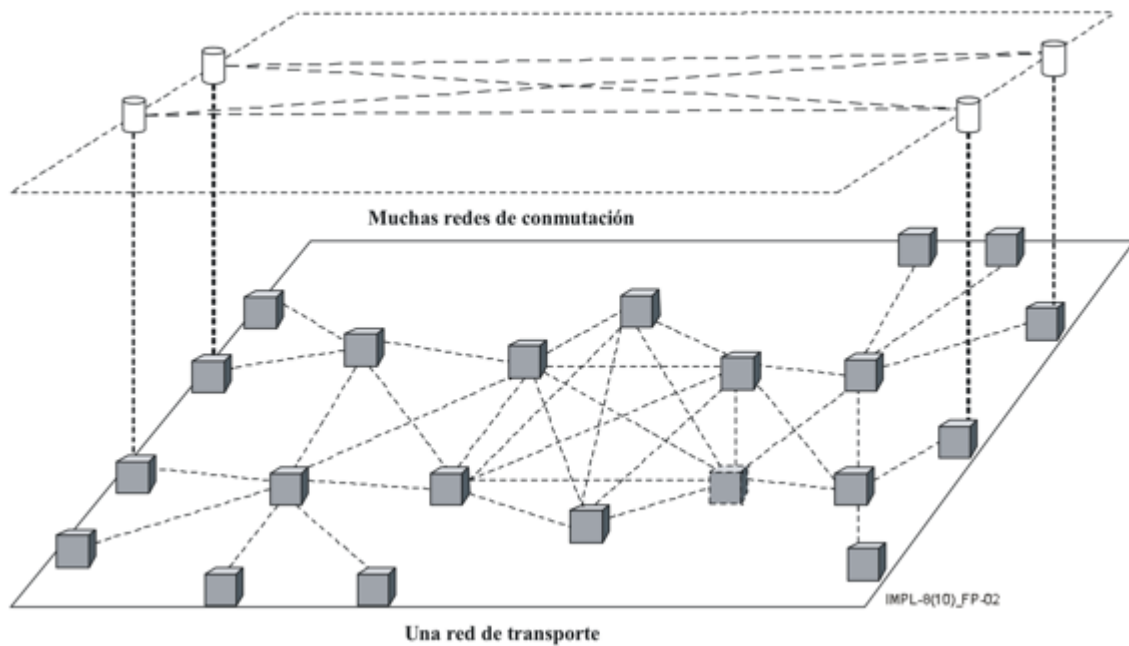


FIGURA 1.7

### INDEPENDENCIA DE LA CAPA DE TRANSPORTE DE UNA RED DE FIBRA ÓTICA

FUENTES: REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE [28]

La creación de dicha independencia se denomina a menudo estratificación de la red cliente/servidor. Se trata de una de las bases de la arquitectura funcional para las redes ópticas de transporte, según se especifica en las Recomendaciones UIT-T. Aunque esta arquitectura funcional se refería originalmente a las redes de circuitos conmutados, el UIT-T ha ampliado este enfoque para abarcar las redes por paquetes.

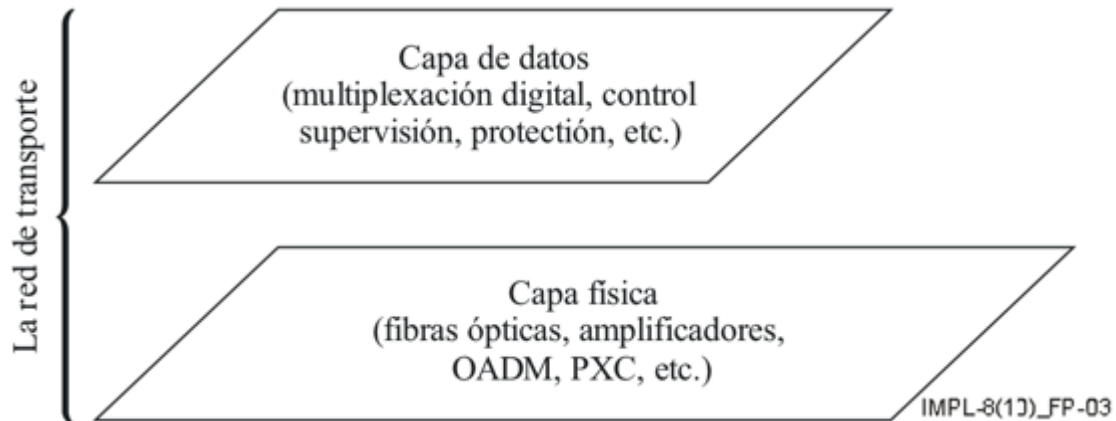
Los proveedores de servicio se aprovechan plenamente de esta independencia entre las funciones de encaminamiento (conmutación) y las funciones de transporte. La conmutación se ha centrado en las características orientadas al servicio utilizando equipos de señalización, mientras que el transporte se ha centrado en la gestión eficaz en función de los costes del ancho de banda, partiendo de la premisa según la cual la capacidad gestionada es fundamentalmente estática, y las configuraciones de los trayectos de transporte perduran durante meses o incluso años.

Esta separación entre la planificación y gestión del encaminamiento (conmutación) y las redes de transporte ha supuesto una solución muy rentable para la implantación de las redes de proveedores de servicios. En muchos casos, el principal coste adicional de este tipo de arquitectura ha sido el correspondiente a los sistemas separados de gestión de red optimizados en función de las distintas demandas de las redes de encaminamiento (conmutación) y de transporte. No obstante, como consecuencia de la capacidad para desarrollar e implantar nuevas tecnologías de encaminamiento (conmutación), o de

modernización de las funciones de tecnología de encaminamiento (conmutación) existentes sin introducir un nuevo transporte, dicho coste diferencial de la gestión de red ha quedado más que compensado.

### 1.2.1 CAPAS DE LAS REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

Puede considerarse que una red óptica de transporte está compuesta por dos capas: la capa cliente (datos) y la capa óptica (figura 1.8).



**FIGURA 1.8**  
**CAPAS DE UNA RED ÓPTICA DE TRANSPORTE**  
FUENTES: REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE [28]

Las dos capas de una red óptica de transporte. La capa cliente (datos) procesa los datos en el campo eléctrico y se aplica a través de un equipo que cumple las funciones de multiplexación de señal, encaminamiento, supervisión, control del funcionamiento, vigilancia y supervivencia de la red. Incorpora diversos servicios de baja velocidad de voz, datos y líneas privadas. [28]

La capa óptica proporciona trayectos de luz a la capa cliente, siendo los trayectos de luz los enlaces físicos entre los elementos de red de la capa cliente. La descripción de las actividades del UIT-T en relación con la normalización de la capa óptica pueden encontrarse en el manual UIT-T titulado "*Optical fibres, cables and systems*" (Fibras, cables y sistemas ópticos).

### 1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA RED ÓPTICA DE TRANSPORTE

La capa cliente (datos) de una OTN se caracteriza por:

- Arquitectura de red
- Jerarquía de multiplexión
- Técnica de supervisión

- Técnica de sincronización de la red
- Procedimientos de supervivencia de la red

Todas estas características están especificadas en las recomendaciones de la UIT-T descritos y normalizados de las redes ópticas.

A finales del decenio de 1970, la fibra comenzó a sustituir los cables metálicos coaxiales y multipares como medio de transmisión en las redes de telecomunicaciones (primera generación), al aportar múltiples ventajas técnicas y económicas. Por otra parte, en el decenio transcurrido entre 1985 y 1995, cuatro importantes eventos anunciaron la posibilidad de la constitución de redes ópticas (segunda generación) donde tanto la transmisión como el encaminamiento pueden basarse en la óptica. Dichos eventos fueron:

La obtención de amplificadores ópticos que lo hacen posible, una implantación rentable de la multiplexación por división de longitud de onda (WDM), la demostración de una transconexión óptica (OXC) que permite la reconfiguración rápida de los trayectos luminosos basados en canales de longitudes de onda, y la convergencia de las velocidades de transmisión de servicio y de transporte.

La mayoría de los sistemas modernos de fibra óptica son capaces de transmitir a una velocidad de varias decenas de Gbit/. En consecuencia de ello, para utilizar plenamente la capacidad del sistema, es necesario transmitir varios canales a la vez en la fibra óptica, por medio de la multiplexación. Esto puede lograrse a través de la multiplexación por división de frecuencia (FDM) o de la multiplexación por división en el tiempo (TDM).

La multiplexación por división de frecuencia se utiliza en la actualidad en el dominio óptico. En dicho dominio, la FDM óptica se conoce como multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Se pueden encontrar más detalles al respecto en el manual de la ITU-T "Optical fibres, cables and systems".

La multiplexación por división en el tiempo suele aplicarse a las señales digitales y se utiliza habitualmente en las redes de telecomunicaciones para efectuar la multiplexación de un gran número de señales clientes (canales) en un mismo tren de bits eléctricos [29]. Este concepto de TDM se utiliza para constituir jerarquías de multiplexación digital como la jerarquía digital plesiócrona (PDH), la jerarquía digital síncrona (SDH) y la jerarquía de transporte óptica (OTH).



### 1.2.3 TRANSPORTE DE PAQUETES DE DATOS

Se han planteado varios enfoques para el transporte de señales de paquetes de datos (entre ellos está el Ethernet) esté sitúa las tramas de paquetes nativos directamente en longitudes de onda ópticas. En este caso, la señal tras el transporte es idéntica a la señal entregada a la red óptica y se logra la transparencia total de la capa física, pero no se dispone de tara de gestión.

El enfoque que vamos a utilizar en la presente tesis es el de redes ópticas de transporte ampliamente implantadas tales como SDH u OTN. Las tramas de paquetes están encapsuladas en otras tramas de transporte antes de situarlas en la capa óptica. A diferencia del anterior enfoque la tara de la capa de transporte se utiliza para las funciones de control y gestión.

El procedimiento de entramado genérico (GFP) es un método empleado habitualmente para adaptar distintos protocolo es de paquetes a nivel de la capa de enlace para su transporte por SDH u OTN. Siendo esté protocolo apropiado para paquetes de longitud variable (Ethernet, IP por PPP, Gigabit Ethernet, RPR) y con paquetes de longitud fija (canal por fibra) [29].

### 1.2.4 FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE.

Hay diversos tipos de rede ópticas de transporte que se han implantado en redes públicas de telecomunicaciones y en rede de empresas privadas.

- PDH ha sido muy utilizada en las redes públicas de telecomunicaciones
- SDH ha prevalecido en las infraestructuras públicas de transporte. SDH ofrece una multiplexación por división en el tiempo eficiente para velocidades bajas y permite que se los datos sean transportados de forma fiable y gestionable.
- OTN se está en la actual jerarquía de multiplexación predominante que se utiliza ahora con clientes que disponen de anchos de banda de servicio que van desde 1 Gbit/s hasta 100 Gbit/s.
- Ethernet es una tecnología de red por paquetes. Se utiliza en el ámbito empresarial y el transporte entre proveedores de servicios.
- MPLS es una tecnología de red por paquetes. Se utiliza también en el ámbito empresarial y el transporte entre proveedores de servicios.

#### 1.2.4.1 JERARQUÍA DIGITAL PLESIÓCRONA

Está jerarquía digital plesiócrona (PDH) fue la primera especificada en el ITU en los años 70. Actualmente se considera obsoleta. [29]

En aquel momento, el principal centro de atención era la multiplexación de circuitos digitales para voz analógico con anchos de banda de 4 khz que podían ser muestreados en 8 khz para ser cuantificados a 8 bits por muestra, obteniéndose una velocidad binaria de 64 kbit/s para un circuito de voz digital. (Para más información, véase la recomendación UIT-T G.702.)

#### 1.2.4.2 JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA

Es una tecnología que se empezó a estudiar a mediados de los 80s. El resultado fue la norma SDH. En 1990, entraron en funcionamiento las primeras redes SDH de varios fabricantes. A lo largo de los últimos años, los proveedores de servicio han generalizado la implementación de sistemas ópticos SDH, que siguen predominando en las redes públicas de transporte. La evolución de la normalización ha especificado sistemas ópticos SDH que funcionan a unos 10 Gbit/s, disponible desde 1996, y desde 2002 sistemas ópticos SDH que funcionan a unos 40 Gbit/s[28].

Esta norma se denomina jerarquía digital síncrona (SDH) en el UIT-Y y red óptica síncrona (SONET) en América del Norte.

La SDH define una estructura de trama síncrona para la transmisión de señales TDM. La velocidad binaria básica de la SDH es 155,52 Mbit/s y se denomina STM-1, donde STM designa el Módulo de Transporte Síncrono. Los niveles más elevados tienen una velocidad binaria que es un múltiplo exacto de la velocidad binaria básica STM-1.

La SDH ha sido implanta con gran éxito en la mayoría de los núcleos de red a lo largo de los años. Inicialmente concebida para conexiones de baja velocidad de voz, en la actualidad, también sirve de soporte para el tráfico de paquetes de datos por enlaces con velocidades de transmisión que alcanza los 40 Gbit/s.

#### 1.2.4.3 RED ÓPTICA DE TRANSPORTE (OTN)

En los años 90, la tecnología de los componentes ópticos evoluciono y dio paso a nuevas capacidades que permiten el transporte de longitudes de onda múltiples (colores) en una misma fibra óptica. Éste fue uno de los motivos que llevaron al UIT-T a iniciar la elaboración de recomendaciones para estas capacidades [30].

Las OTN ofrecen la posibilidad de envolver cualquier servicio en un contenedor digital óptico y permitir así la transparencia de servicio que ofrece la flexibilidad para dar soporte a todo tipo de servicios (voz, vídeo y datos). Esta tecnología se diseñó de modo que fuera transparente respecto del tipo de servicio, preservando todas las funcionalidades y la calidad de servicio nativa.

La primera versión de las Recomendaciones OTN fue publicada en el 2001. Teniendo como principales características [30].

- La jerarquía digital de la OTN se ha concebido para velocidades de transmisión de datos elevadas. Las velocidades de línea en la OTH (jerarquía de transporte óptico) de la OTN son OTU1, OTU2, OTU3 y OTU4. OTU4 ha sido normalizada recientemente (en 2009) a 112 Gbit/s a fin de transportar datos de cliente Ethernet de 100 Gbit/s en una misma longitud de onda de una fibra. Por otra parte, es capaz de multiplexar afluentes de ODU de menor velocidad binaria para lograr mayor eficiencia espectral (por ejemplo, dos clientes de 40 Gbit/s y dos clientes de 10 Gbit/s, o diez clientes de 10 Gbit/s).
- La OTN se ha concebido para el uso de la corrección de errores sin canal de retorno como tara. A velocidades binarias muy elevadas y en distancias muy largas, el ruido es importante y se convierte en un problema para garantizar tasas de errores en los bits bajas. La corrección de errores sin canal de retorno (FEC) resulta esencial para lograr dichas tasas de errores en los bits bajas (véase el manual UIT-T titulado "*Optical fibres, cables and systems*").
- La OTN, al igual que la SDH, proporciona tara para el control de las conexiones en ambos extremos y por varios segmentos del enlace.
- La OTN permite un funcionamiento, una administración y una gestión que son transparentes para sus clientes. Puede transportar cualquier tipo de tráfico de paquetes de datos incluidos IP, MPLS y Ethernet. Además, las tramas OTN pueden transportar tramas SDH completas, incluidas la tara de señal de cliente, sin modificación.

#### 1.2.4.4 ETHERNET POR LA CAPA DE TRANSPORTE

Al tratarse de una tecnología por paquetes, Ethernet es considerablemente diferente de la tecnología SDH de conmutación de circuitos que naturalmente acabará reemplazando. Para complementar las capacidades de Ethernet con respecto a SDH, el IEEE ha especificado la Ethernet de Operador, que reduce muchísimo las consecuencias de la complejidad que caracteriza a las redes de operador de gran alcance y amplitud, y se está convirtiendo en un posible sustituto rentable de SDH. En particular, Ethernet de Operador ha de proporcionar un nivel equivalente de transparencia, simplicidad y fiabilidad al que se obtiene con SDH. Las nuevas normas de Ethernet de IEEE para PBB (puentes troncales de proveedor) y PBB-TE (ingeniería de tráfico PBB) resultan bastante adecuadas para esta función.

Como alternativa a Ethernet de Operador, los proveedores de servicio pueden recurrir a otras tecnologías para transportar Ethernet. Por ejemplo, como se ha indicado antes,

puede recurrirse a tecnologías SDH y OTN, de modo que las tramas Ethernet se encapsulan en conexiones SDH y OTN siguiendo el procedimiento de entramado genérico.

#### 1.2.4.5 RED ÓPTICA CON CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA (ASON)

En 2001, se introdujeron por primera vez los planos de control, además de los planos de transporte y los planos de gestión, para construir redes de transporte con conmutación automática (ASTN) y redes ópticas con conmutación automática (ASON) en las normas relativas a las redes de transporte. La ASTN se fusionó en la ASON en 2006 y ahora esta última comprende dichas capacidades de conexión dinámica tanto en las redes de transporte de paquetes como en las ópticas.

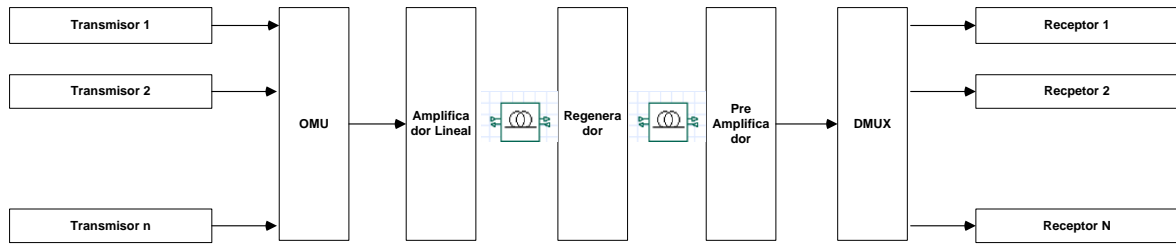
#### 1.2.5 ARQUITECTURAS DE RED

En la presente tesis nos enfocamos principalmente en las redes llamadas “redes públicas, las cuales son redes operadas por proveedores de servicio (service-providers) o portadores (carriers). Estos proveedores de servicio utilizan su red para proporcionar una variedad de servicios a sus clientes.

En la mayoría de las veces el transportador (carrier) es dueño de los espacios donde están los equipos de desarrollo dentro de la red. Cuando se va a construir unas líneas de fibra óptica se necesitan derechos de paso. La fibra es desplegada de varias maneras actualmente. Se pueden ver con más detenimiento sobre los tipos de instalación más adelante en este capítulo.

La central de interconexión local (LEC) ofrece servicios en zonas metropolitanas, en cambio los transportadores de intercambio (IXC) ofrecen servicios de larga distancia. El alcance de esta tesis solo se concentra en estimar la construcción de long-haul network atravesando dos departamentos del Perú Moquegua y Puno con dirección a Bolivia (en el capítulo de diseño se puede apreciar un completo análisis sobre este punto.

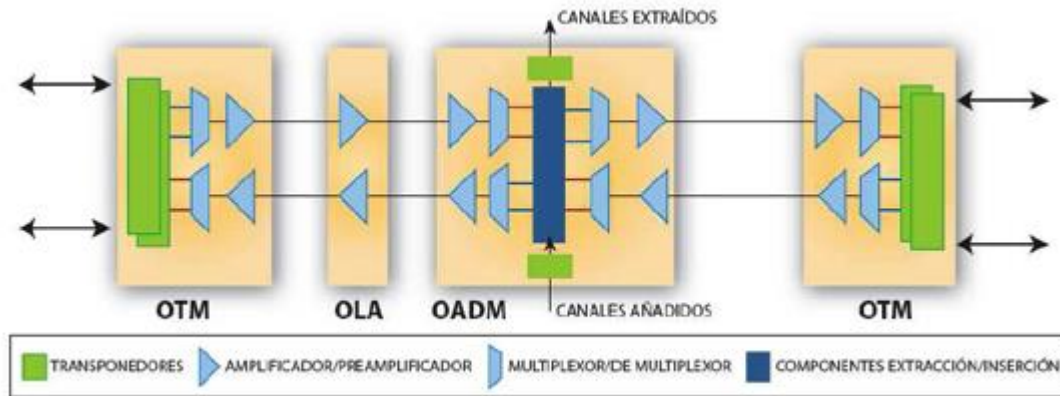
La siguiente figura 1.9 muestra una arquitectura típica de una red de fibra óptica.



**FIGURA 1.9**  
**ARQUITECTURA DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA**  
ELABORACIÓN PROPIA. FUENTE [15]

### 1.2.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DWDM

Los elementos que se encuentran generalmente en un sistema DWDM son: Los OTMs (Optical Terminal Multiplex), los OLAs (Optical Line Amplifier) y los OADMs (Optical Add/Drop Multiplexer). Ver figura 1.10



**FIGURA 1.10**  
**ESQUEMA BÁSICO DE UN SISTEMA DWDM**  
FUENTE: [HTTP://WWW.RAMONMILLAN.COM/DOCUMENTOS/DWDM\\_REDESTELECOM.PDF](http://www.ramonmillan.com/documentos/dwdm_redestelecom.pdf) [DICIEMBRE, 2013]

Los sistemas DWDM tienen las siguientes características físicas:

Terminales multiplexores ópticos OTMs, son necesarios en cada extremo del enlace, ellos realizan la función esencial de multiplexar en transmisión y demultiplexar en recepción. El componente encargado de recibir las señales cliente y adaptarlas a una longitud de onda estandarizada, estabiliza y susceptible de ser multiplexada y demultiplexada es el transponder.

El transponder, o trasladador de longitud de onda, acepta la entrada en la forma de una láser estándar monomodo o multimodo. La entrada puede venir de distintos medios físicos y con diferentes tipos de tráfico. La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeada a una longitud de onda DWDM [27]. Ver figura 1.11

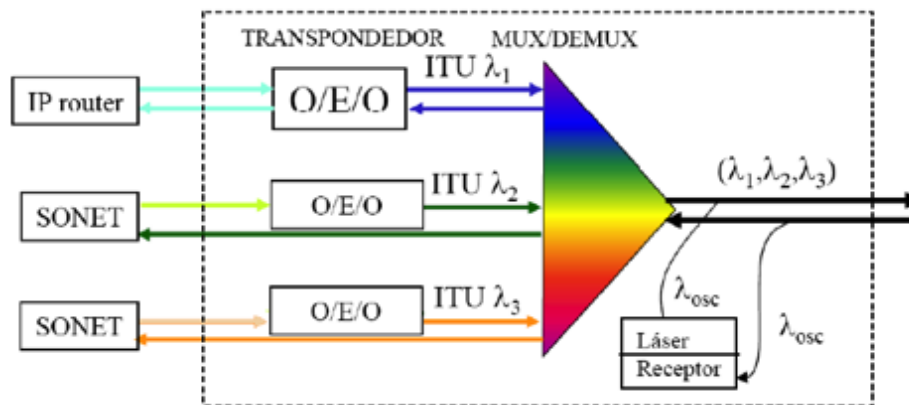


FIGURA 1.11

## DETALLE DE UN TRANSPONDER

FUENTE: [HTTP://WWW.GCO.UPV.ES/ES/WEBDOCENTE/REDES](http://www.gco.upv.es/es/webdocente/reDES)

Multiplexores, luego se produce una combinación de señales, es aquí donde se utilizan los multiplexores. Las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexadas en una sola señal óptica y enviada a la fibra.

Amplificadores, hay algunas pérdidas asociadas a la multiplexión y la demultiplexión. Esta pérdida depende del número de canales, pero se puede mitigar con amplificadores ópticos que amplían todas las longitudes de onda a la vez sin conversión eléctrica. En este caso se utiliza un post-amplificador a la salida del sistema. [15]

Transmisión por la Fibra, se refiere a la transmisión de señales que se hace por la fibra óptica. Se deben considerar los efectos de diafonía y la degradación o pérdida de la señal óptica deben ser consideradas. Estos efectos pueden ser minimizados mediante el control de las variables, como el espaciado entre canales, la tolerancia de la longitud de onda y los niveles de potencia del láser.

Pre-amplificadores, se utilizan para reforzar la señal antes de que entren en un extremo del sistema.

Demultiplexores, inmediatamente que la señal es recibida se separan las señales recibidas. En el lado del receptor, tales señales multiplexadas deben ser separadas en longitudes de onda (longitudes de onda) individuales.

Foto detectores, finalmente luego de separar las señales multiplexadas en el emisor. La señal demultiplexada es recibida por un foto-detector y cada longitud de onda individual es mapeada según el tipo de salida requerida.

### 1.2.7 PARÁMETROS A SER CONSIDERADOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DWDM

Los sistemas DWDM tienen una gran importancia en la capa óptica, la cual es responsable del transporte de las señales a través de la red. Algunos parámetros concernientes a la transmisión se explican a continuación. [

#### ESPACIAMIENTO DEL CANAL

El espaciamiento del canal es la mínima frecuencia de separación entre las diferentes señales multiplexadas en la fibra. Puede ser de 200, 100 50, 25 o de 12.5 GHz. Los espaciamientos que actualmente están estandarizados por la Unión Internacional de Telecomunicación (ITU) por sus siglas en inglés son los de 50 y 100 GHz y pueden revisar con detalle en las recomendaciones G.694.1.29

#### DIRECCIÓN DE LA SEÑAL

En los sistemas DWDM pueden ser implementados de dos formas: Unidireccionales y Bidireccionales. En los sistemas unidireccionales todas las longitudes de onda viajan en una misma dirección en la fibra y se necesitan dos de estas para la transmisión en ambos sentidos. Por otro lado, en los sistemas bidireccionales el canal es dividido en dos bandas, una para cada dirección. En este caso se evita desplegar una segunda fibra pero se reduce la capacidad del ancho de banda a transmitirse.

#### ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL

Los sistemas DWDM son capaces de transportar señales ópticas con grandes anchos de banda. En general los sistemas DWDM utilizan láseres que tienen una velocidad de bit de 10 Gbps (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda. Esto provee un máximo de 2,4 Tbps sobre una sola fibra óptica. Los nuevos sistemas DWDM son capaces de soportar velocidades de 40 Gbps (OC-768/STM-256) por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados. A raíz de esto se podrán transmitir 12 tbps de ancho de banda sobre una misma fibra.

#### POTENCIA DE LA SEÑAL

La potencia de la señal en los sistemas ópticos decrece exponencialmente con la distancia. La potencia de entrada es proporcionada al láser emisor y la potencia de salida es el resultado de una amplia gama de sucesos que se presentan a lo largo del enlace óptico, entre algunos de ellos tenemos a: atenuación, dispersión, efectos no lineales en las fibras ópticas, amplificación óptica, conversión optoelectrónica. [15]

## CODIFICACIÓN

Las señales eléctricas que llevan las diferentes portadoras de información son codificadas cuando son convertidas a señales ópticas para su transmisión y son decodificadas en el receptor óptico, donde son nuevamente convertidas a señales eléctricas. Los tipos de codificación más utilizados en el dominio óptico son: no retorno a cero (NRZ) y retorno a cero (RZ).

## TASA DE BIT ERRADA (BER)

La tasa de bits errados (BER) es igual a la tasa de bits errados en un total de bits transmitidos. Típicamente valores de BER de  $10^{12}$  son característicos de la Red Óptica Síncrona (SONET, por sus siglas en inglés) y  $10^{15}$  para redes DWDM, especialmente en redes long haul. El valor de  $10^{15}$  significa a decir que existe un bit errado por cada  $10^{15}$  bits transmitidos. [27]

## RUIDO

El ruido se presenta en sistemas ópticos que incluyen procesos de amplificación. El OSNR (relación señal a ruido óptico) especifica la razón entre la potencia neta de la señal y la potencia neta del ruido.

### 1.2.8 PROTECCIÓN PARA SUPERVIVENCIA

Por protección para supervivencia se entiende la capacidad de la red para mantener un nivel aceptable de servicio en caso de que se produzca un fallo en la red o el equipo o una degradación de la señal. Existen diversos mecanismos de supervivencia que comprenden una extensa variedad de arquitecturas, tecnologías y atribución de recursos de red.

En los últimos diez años el UIT-T ha elaborado varias Recomendaciones relativas a sistemas de protección genéricos y específicos de la tecnología. En general, existen dos tipos de técnicas de supervivencia de red.

La protección de red consiste en sustituir un recurso nominal que ha fallado o se ha degradado por un recurso de reserva pre asignado. Los mecanismos de protección suelen ser de naturaleza determinística. Por lo general, la protección actúa en torno a los diez milisegundos. Los mecanismos de protección son autónomos y funcionan con independencia de los planos de control y de gestión. Existen diversos sistemas de protección con arquitecturas distintas y tecnologías diferentes. La mayoría de estos sistemas se definen en las siguientes Recomendaciones:



- UIT-T G.808.1 "Conmutación de protección genérica – Protección lineal de camino y de subred"
- UIT-T G.841 "Tipos y características de las arquitecturas de protección para redes de la jerarquía digital síncrona"
- UIT-T G.873.1 "Red óptica de transporte: Protección lineal"
- UIT-T G.8031/Y.1342 "Conmutación de protección lineal Ethernet"
- UIT-T G.8032/Y.1344 "Conmutación de protección del anillo Ethernet"

La restauración de red consiste en sustituir el recurso nominal que ha fallado o se ha degradado mediante el re-encaminamiento utilizando recursos de reserva que se atribuyen dinámicamente. La restauración es no determinística y el comportamiento de la red en caso de fallo resulta menos predecible. La restauración puede tardar varios segundos en actuar, dependiendo del volumen de tráfico que se haya de restaurar. Además, requiere la actuación del plano de control. Existen varias Recomendaciones de la UIT que definen las arquitecturas del plano de control, la señalización y el encaminamiento [28].

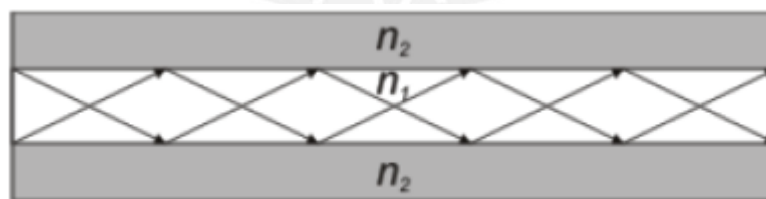
### 1.2.9 FIBRA ÓPTICA

#### CLASIFICACIÓN DE LA FIBRAS.

Las fibras ópticas se clasifican atendiendo a dos criterios: en función del perfil de los índices de refracción y en función de lo modos de propagación.

#### CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA SEGÚN SU MODO DE PROPAGACIÓN

Fibras ópticas Multimodo: Son aquellas que pueden guiar y transmitir varias longitudes de onda por diferentes modos de propagación. Ver figura 1.12



**FIGURA 1.12**

#### **FIBRA ÓPTICA MULTIMODO**

FUENTE: OPTICAL NETWORKS A PRACTICAL PERSPECTIVE [15]

Fibras ópticas Monomodo: Son aquellas que por su especial diseño pueden guiar y transmitir un solo rayo de luz (un único modo de propagación) y son utilizadas para redes con alto ancho de banda. Ver figura 1.13

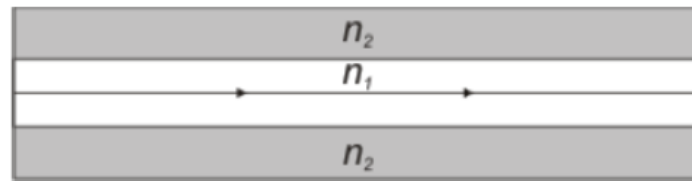


FIGURA 1.13

## FIBRA ÓPTICA MONOMODO

FUENTE: OPTICAL NETWORKS A PRACTICAL PERSPECTIVE [15]

## CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Perfil de índice de refracción. Es la variación del índice de refracción conforme se desplaza en la sección transversal de la fibra, es decir a lo largo del diámetro, existen de dos tipos, índice escalón e índice gradual.

Fibras de índice escalón (Stepped-index). Son aquellas que tiene un núcleo central con un índice de refracción  $n_1$  constante, este núcleo está rodeado por un revestimiento también con un índice de refracción  $n_2$  constante, pero menos que  $n_1$ . Ver figura 1.14

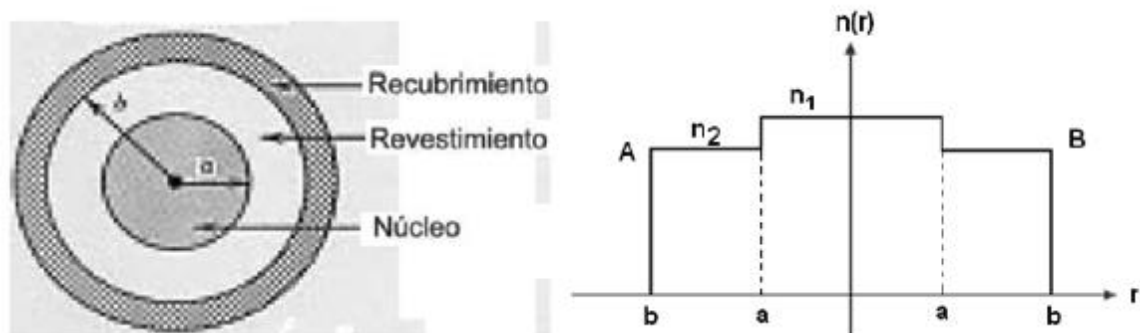


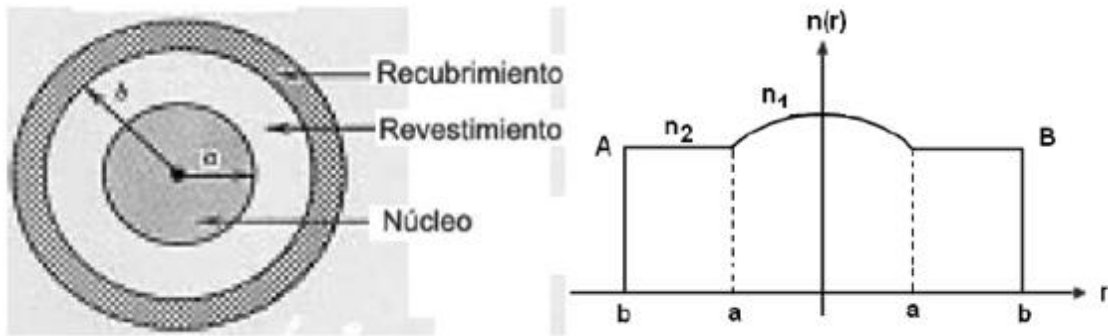
FIGURA 1.14

## DESCRIPCIÓN DE UNA FIBRA ÓPTICA

FUENTE: OPTICAL NETWORKS A PRACTICAL PERSPECTIVE [15]

Fibras monomodo de índice escalón. Este tipo de perfil es también utilizado en fibras monomodo, dado que se propaga un único modo de propagación el fenómeno del ensanchamiento del pulso es despreciable, por lo que estas fibras no presentan dispersión modal.

Fibras de índice gradual (graded-index). El índice de refracción  $n_2$  es constante en el revestimiento, pero  $n_1$  decrece de forma gradual desde el centro del núcleo hacia frontera y se tiene un máximo en el centro del núcleo. Ver figura 1.15



**FIGURA 1.15**  
**FIBRA ÓPTICA CON ÍNDICE GRADUAL**  
FUENTE: OPTICAL NETWORKS A PRACTICAL PERSPECTIVE [15]

**ATENUACIÓN**

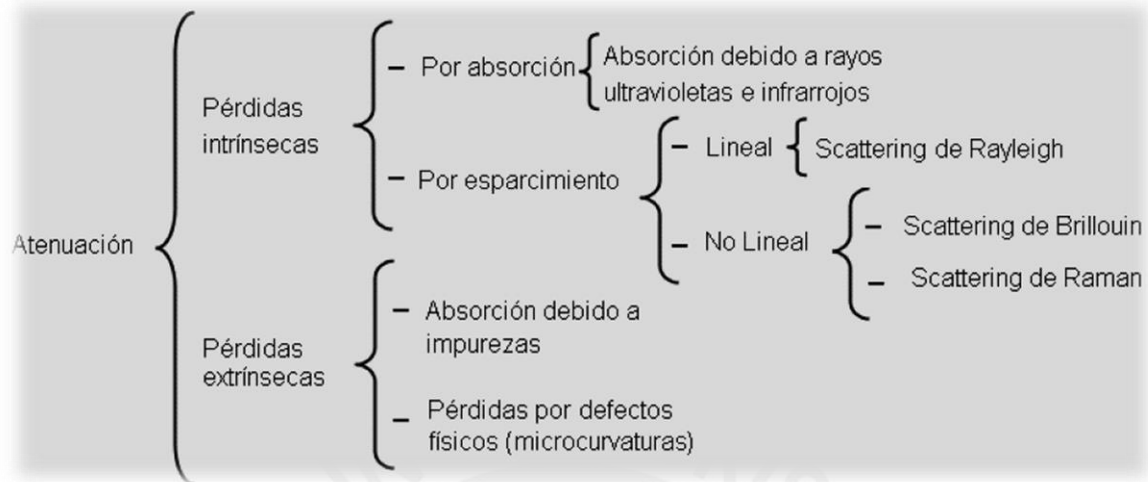
La atenuación es la pérdida de potencia que sufren las longitudes de onda a medida que se propagan por la fibra. La forma de obtener la pérdida o atenuación  $A(\lambda)$  en el interior de la fibra será la relación entre las potencias luminosas a la salida y a la entrada, expresada típicamente en decibelios.

Las principales longitudes de onda corresponden a los puntos en donde la atenuación es mínima. Estas longitudes de onda son conocidas como ventanas de transmisión. El estándar UIT-T G.692 ha definido ventanas adicionales llamadas bandas, las cuales son utilizadas en sistemas de transmisión DWDM. Ver figura 1.16.



**FIGURA 1.16**  
**LONGITUDES DE ONDA**  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A [28]

Causas de la atenuación de las fibras ópticas se agrupan de la siguiente manera. Ver figura 1.17.



**FIGURA 1.17**  
**TIPOS DE ATENUACIÓN QUE SE PRESENTA EN UNA FIBRA ÓPTICA**  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A [28]

#### 1.2.10 TIPOS DE INSTALACIÓN

##### INSTALACIÓN AÉREA:

La distribución y acometida es más sencilla y barata, sobre todo si existen postes disponibles en los que fijar los cables.

Está fuertemente condicionada por la legislación de cada de país y las normativas de autoridades locales, así como a criterios estéticos.

El cable está expuesto totalmente a condiciones climáticas, por lo que debe estar especialmente reforzado en función de la meteorología del lugar.

##### INSTALACIÓN SUBTERRÁNEA EN ZANJAS:

El cable puede ir directamente enterrado o colocado en el interior de conductos. Si se aprovecha la renovación de servicios o el tendido de nuevos (alcantarillas, tuberías, carreteras), el coste de instalación del cable no influirá notablemente en el total. Los costes de instalación se incrementan, por lo que se hace necesaria la compartición de infraestructuras por parte de los operadores.

Es una buena opción cuando la zanja ya está abierta para otro tipo de instalación, las autoridades locales suelen promover la instalación de cable o ductos cuando se abre una calle o carretera.

Además del coste económico, es necesario solicitar permisos, realizar cortes de calles y de tráfico que afectan a los usuarios. Existe posibilidad de dañar servicios ya operativos (luz, agua, gas).

#### INSTALACIÓN SUBTERRÁNEA EN GALERÍAS DE SERVICIO Y ALCANTARILLAS.

Es fundamental la colaboración con los operadores de las autoridades locales, ya que disponen de bienes de dominio público que pueden ceder para permitir desplegar nuevas infraestructuras. De esta forma se puede evitar la realización de nuevas obras, pero la instalación está muy condicionada por el estado de los conductos a utilizar. En algunos casos no es posible el acceso a través de estos servicios o no están acondicionados.

Esta opción junto con el tendido aéreo son las más ventajosas desde el punto de vista económico.

#### INSTALACIÓN EN MICRO-ZANJAS

La instalación en micro-zanjas es una alternativa que permite reducir el impacto de la obra civil en la instalación de nuevos cables. El coste puede ser 1/3 del de una canalización normal.

Consiste en la realización de una zanja de tamaño muy reducido que varía entre 1 y 10 cm de ancho y 10 - 20 cm de profundidad dependiendo del diámetro del cable a instalar; una vez colocado el cable en su interior se colocan elementos protectores o conductos en los que se instale el cable después; que finalmente se sella con material bituminoso.

El trazado de la instalación será en línea recta para no inducir curvaturas en el cable, los cambios bruscos de dirección deberán ser evitados, y cuando sean inevitables se deberán realizar cortes en ángulo.

#### VENTAJAS FUNDAMENTALES:

- Reducción de costes de instalación
- Menor afeción a tráfico y usuarios que la obra civil tradicional
- Rapidez
- Poca producción de escombros
- Baja penetración en el subsuelo
- Facilidad de mantenimiento

#### DESVENTAJAS:

- Exposición del cable a vibraciones por tráfico denso

- Utilización de cables especiales o estudio del adecuado aislamiento para permitir una instalación correcta
- Susceptible de ser dañado en tareas de mantenimiento de infraestructuras, ya que la instalación se realiza a poca profundidad.
- Ampliaciones de red requerirán una nueva instalación

Las fases de instalación son las siguientes:

- Realización de la micro-zanja
- Limpieza mediante aire comprimido o agua a presión
- Colocación del cable
- Colocación de rellenos de protección
- Cerrado de la zanja mediante aplicación de material bituminoso especial

#### 1.2.11 TOPOLOGÍA DE RED

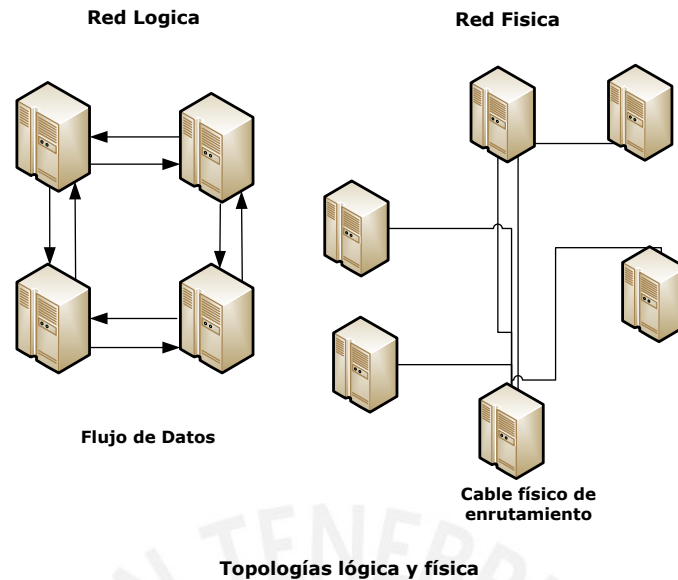
Las redes de fibra óptica deben ser configuradas para dotar al sistema de la suficiente flexibilidad y versatilidad que permita obtener todos los beneficios de la fibra.

Las topologías de red se pueden clasificar como topologías lógicas o físicas. Una topología lógica describe el método por el cual se comunicaran los nodos de una red. Una topología física es el trazado del cableado y de los nodos en la red. Ver figura 1.18

Las redes Wavelength Multiplexación por División densa (DWDM) se clasifican en cuatro grandes configuraciones topológicas: DWDM de punto a punto con o sin red de multiplexación de subida como de bajada de canales (add-drop), red totalmente conectada malla, red en estrella, y la red de anillo DWDM con nodos OADM y concentradores. Cada topología tiene sus propios requisitos y, sobre la base de la aplicación, diferentes componentes ópticos puede estar implicada en los respectivos diseños.

Hay cuatro topologías lógicas para redes de transporte:

- Punto a Punto
- En estrella
- En enlace común
- En anillo



**FIGURA 1.18**  
**TOPOLOGÍAS LÓGICA Y FÍSICA PARA UNA RED DE TRANSPORTE**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A [16]

Topología Punto a Punto se utiliza principalmente para el transporte de largo recorrido (long-haul) que requieran velocidades ultra altas (10 a 40 Gbps), el ancho de banda agregado de este tipo de red (es del orden de varios terabits por segundo), de alta integridad de la señal, gran fiabilidad y capacidad de recuperación. La distancia entre transmitter y el receptor puede ser varios cientos de kilómetros, y el número de amplificadores entre los dos puntos finales es típicamente menos de 10 (como determinó por la pérdida de potencia y distorsión de la señal). Punto a punto con multiplexación add-drop permite el sistema para quitar y añadir channels largo de su trayectoria. Número de canales, la separación de canales, tipo de fibra, el método de modulación de la señal, y la selección del tipo de componente se encuentran todos los parámetros importantes en el cálculo de la provisión de energía

A continuación se desarrolla el capítulo 2 donde se describe brevemente el estado de las comunicaciones en Bolivia y además se detalla el cálculo de la demanda esperada de capacidad internacional fija para los próximos años.

## CAPÍTULO 2: PERFIL Y DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE TRANSPORTE DE DATOS DEL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

En este capítulo se describe la infraestructura de la red de transporte pero más importante la demanda que

### 2.1 DATOS GENERALES

#### 2.1.1 GEOGRAFÍA ECONÓMICA

Superficie continental e insular: 1.098.581 km<sup>2</sup>, lo que la sitúa en el quinto rango de los países de América del Sur y 28 rango mundial.

Bolivia limita al noreste con el Brasil, al sur con Argentina y Paraguay, al suroeste con Chile y al oeste con Perú.

Población: 10.027.254 habitantes (censo 2012)

Los 9 departamentos se encuentran administrados por las Prefecturas de Departamento, compuesto por el Prefecto, nombrado por el Presidente, como órgano ejecutivo y el Consejo Departamental con facultades resolutorias, nominativas y fiscalizadoras del primero. Las provincias son dirigidas por un Subprefecto, subordinado al Prefecto. La sección de provincia corresponde a la Municipalidad, compuesta por el Alcalde como autoridad superior, y el Consejo Municipal presidido por este, que conforma un órgano resolutorio, nominativo y fiscalizador. El cantón es dirigido por el Agente Cantonal o Municipal, el mismo que es elegido por la comunidad.

Los departamentos son: La Paz, Santa Cruz, Cochabamba, Chuquisaca, Oruro, Potosí, Tarija, Beni y Pando.

El departamento que colinda con Perú es La Paz donde se encuentra la sede de gobierno a 93 Km de la frontera con el Perú.

Capital. Sucre (Constitucional) y La Paz (Sede del Gobierno).

Producto Interno Bruto (PIB): En los últimos años la tasa de crecimiento del país estuvo por encima del promedio de la región. Ver siguiente tabla 2.1.

**TABLA 2.1**

<b>Tasa de Crecimiento</b>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Bolivia</b>	4.6	6.1	3.4	4.2	5.17	5.2	6.04

Elaboración Propia en base a datos de Banco Central de Bolivia (a octubre 2013)



### 2.1.2 ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN POR DEPARTAMENTO

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) la población proyectada para los próximos años se puede apreciar en la siguiente tabla 2.2

**TABLA 2.2**

**BOLIVIA: PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN TOTAL POR QUINQUENIOS SEGÚN GRUPOS DE EDAD Y SEXO , 2000-2030**

GRUPOS DE EDAD Y	POBLACIÓN TOTAL						
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>BOLIVIA</b>	<b>8,427,790</b>	<b>9,427,219</b>	<b>10,426,155</b>	<b>11,410,653</b>	<b>12,362,780</b>	<b>13,268,460</b>	<b>14,114,508</b>
0 - 4	1,205,464	1,279,277	1,302,875	1,309,764	1,299,124	1,278,896	1,250,821
5 - 9	1,133,522	1,184,545	1,259,095	1,284,354	1,293,138	1,284,395	1,265,990
10 - 14	990,448	1,120,714	1,172,211	1,247,189	1,273,476	1,283,299	1,275,671
15-19	865,498	980,559	1,110,392	1,162,394	1,237,815	1,264,868	1,275,538
20-24	760,020	855,044	969,621	1,099,113	1,151,776	1,227,626	1,255,536
25-29	677,673	749,965	844,571	958,770	1,088,017	1,141,255	1,217,529
30-34	558,035	667,439	739,446	833,710	947,596	1,076,490	1,130,305
35-39	467,419	547,366	655,569	727,359	821,308	934,728	1,063,189
40-44	401,546	455,787	534,658	641,542	713,146	806,598	919,426
45-49	335,117	388,216	441,637	519,305	624,664	695,879	788,662
50-54	278,239	320,254	372,064	424,584	500,847	604,146	674,786
55-59	217,357	262,280	302,977	353,330	404,786	479,127	579,814
60-64	181,516	201,661	244,370	283,574	332,194	382,079	453,932
65-69	144,318	163,269	182,400	222,384	259,669	305,792	353,460
70-74	109,420	120,939	138,160	155,971	192,218	226,561	269,084
75-79	62,291	80,278	90,392	105,325	121,290	152,099	182,199
80+	39,907	49,625	65,718	81,986	101,716	124,620	158,566

Fuente INE [31]

### 2.1.3 NÚMERO DE VIVIENDAS

De acuerdo al último censo realizado el año pasado se aprecia el crecimiento en el número de viviendas desde el último censo ver tabla 2.3. Estas cifras serán utilizadas junto a la población proyectada para el cálculo de demanda más adelante en este capítulo.

**TABLA 2.3**

**BOLIVIA: NÚMERO DE VIVIENDAS POR CENSO Y TIPO DE VIVIENDA, SEGÚN DEPARTAMENTO, CENSOS 2001 Y 2012**

DEPARTAMENTO	CENSO 2001						CENSO 2012		
	TOTAL	Tipo de Vivienda		TOTAL	Tipo de Vivienda		TOTAL	Tipo de Vivienda	
		Particular	Colectiva		Particular	Colectiva			
<b>TOTAL</b>	<b>2.270.731</b>	<b>2.258.162</b>	<b>12.569</b>	<b>3.158.691</b>	<b>3.134.613</b>	<b>24.078</b>			
Chuquisaca	140.646	139.700	946	177.767	176.180	1.587			
La Paz	716.169	712.963	3.206	935.514	930.689	4.825			
Cochabamba	416.766	414.622	2.144	594.689	591.552	3.137			
Oruro	127.715	127.184	531	186.168	185.292	876			
Potosí	219.947	219.090	857	278.739	277.354	1.385			
Tarija	98.406	97.601	805	145.320	143.694	1.626			
Santa Cruz	468.619	465.485	3.134	709.629	700.652	8.977			
Beni	70.472	69.740	732	102.661	101.387	1.274			
Pando	11.991	11.777	214	28.204	27.813	391			

FUENTE: INE

#### 2.1.4 TIPO DE GOBIERNO.

“El Estado Plurinacional de Bolivia adopta para su gobierno la forma democrática participativa, representativa y comunitaria, con equivalencia de condiciones entre hombres y mujeres”. (Art. 11 de la Constitución Política de Bolivia. Año 2009).

## 2.2 COMUNICACIÓN

### 2.2.1 LA ESTRUCTURA DEL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES EN BOLIVIA.

Existen tres actores principales en el sector: El Viceministerio de Telecomunicaciones (VMTEL), la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes (ATT) y la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL). El VMTEL pertenece al Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, es la institución pública que lidera el desarrollo del sector de telecomunicaciones formulando, ejecutando y evaluando políticas, normativas y estrategias que promueven la universalidad y la asequibilidad. La ATT, dependiente del VMTEL, tiene las funciones de fiscalizar, controlar, supervisar y regular las actividades y los servicios que prestan los operadores de telecomunicaciones, protegiendo los derechos de los usuarios y promoviendo la competencia leal de los mercados, entre otros. ENTEL, por su parte, es el operador nacional de telecomunicaciones, dependiente institucionalmente del VMTEL, y que ofrece servicios de telefonía fija, móvil, internet y TV satelital a nivel nacional. En cuanto a los operadores, es preciso mencionar que existen, además, cooperativas que proveen servicios de telecomunicaciones de modo local.

Es necesario también mencionar dos instituciones adicionales. En Primer lugar, la Agencia Boliviana Espacial (ABE) que es la empresa pública nacional estratégica encargada de las actividades espaciales del país y cuya primera misión está siendo la gestión e implementación del Programa Satelital Túpac Katari. Finalmente la unidad de ejecución de proyectos del Programa Nacional de Telecomunicaciones de Inclusión Social (PRONTIS) que se encarga de gestionar los programas para llevar conectividad a las zonas más desfavorecidas.

Entre las empresas privadas que brindan servicios de telecomunicación en Bolivia se encuentran: AXS Bolivia, Cooperativa de Telecomunicaciones Santa Cruz Ltda (COTAS) entre otras.

De acuerdo al censo nacional el 74,73 % del total de viviendas particulares con ocupantes presentes tiene aparato de radio, el 67,24% tienen televisores y 23,36% cuentan con una computadora.

### 2.2.2 TELECOMUNICACIONES

Todo el tráfico de internet cursado desde y hacia Bolivia tiene tres salidas o vías internacionales de interconexión a través de Chile, Argentina y la última a través de Perú. Ver figura 2.1.

Como se puede apreciar en el gráfico En todos los casos la salida internacional de datos para el Estado Plurinacional de Bolivia depende de la infraestructura desplegada por sus países vecinos.

Si bien el tráfico internacional de Bolivia atraviesa territorios de países vecinos otros elementos fundamentales en el encaminamiento de datos y servicios de comunicación son las conocidas líneas submarinas. Que nos permiten interconectarnos con el resto del mundo a través de peering o nodos de intercambio de tráfico IP (IXC). En Perú se tiene un nodo de intercambio de tráfico localizado en Lurín. Ver más detalles en el capítulo 3.

Si bien esta tesis no contempla un estudio extenso en cuanto a las redes de cableado submarino. Es importante tomar en cuenta su ubicación geográfica. Ya que de ella depende en gran medida el abaratar los costos de transporte de datos. Ver figura 2.2. Ya a la hora de elaborar la propuesta económica volveremos a mencionar este tema.

## 2.3 ESTADO ACTUAL DE LA TELECOMUNICACIONES EN BOLIVIA.

### 2.3.1 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEAS DE BANDA ANCHA FIJAS

A partir de informes proporcionado por empresas del sector de telecomunicaciones [31] en Bolivia, además de datos estadísticos extraídos de la Base de Datos de la ITU [3]. Se pudo elaborar la demanda esperada en los próximos años en cuanto a capacidad de tráfico internacional se refiere. Pero antes se describen el estado actual de las comunicaciones en Bolivia.

De la tabla 2.4 podemos concluir que existe crecimiento respecto a la suscripción de servicios de Internet Broadband exceptuando el año 2011. También se puede apreciar que la Tráfico Internacional ha continuado creciendo de forma constante entre los años 2004 y 2007. Pero en los últimos años este valor ha crecido rápidamente de 398 Mbit/s en el 2007 se llega a 7 Gbit/s en el 2008, el crecimiento ha seguido de forma continua hasta llegar en el 2011 (último dato provisto por ITU) a 12 Gbit/s.



FIGURA 2.1  
SALIDAS INTERNACIONALES DE INTERCONEXIÓN DE INTERNET PARA BOLIVIA  
FUENTE: VICEMINISTERIOS DE TELECOMUNICACIONES DE BOLIVIA.[34]

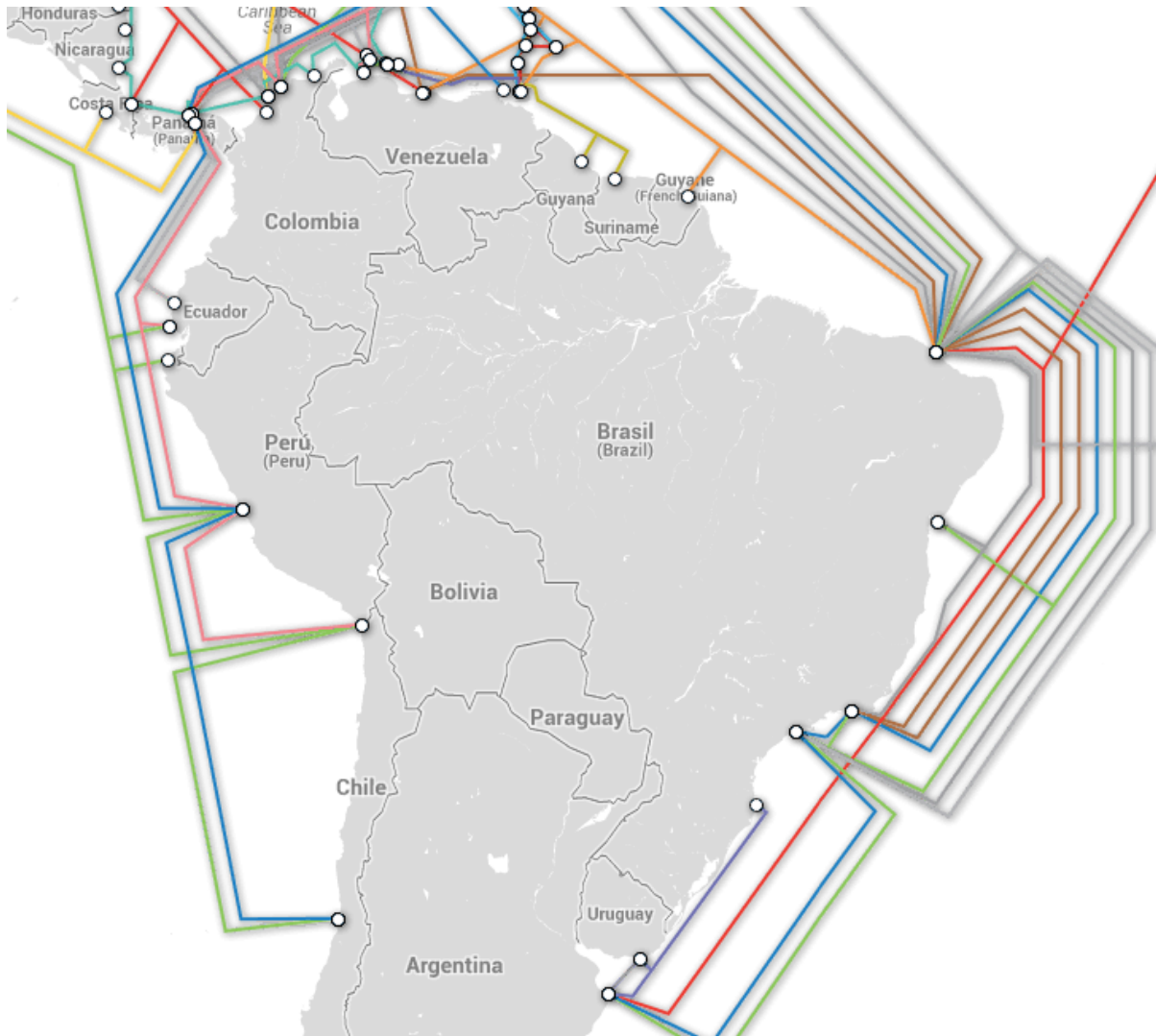


FIGURA 2.2

CABLES SUBMARINOS DE AMÉRICA DEL SUR

FUENTE: CABLES SUBMARINOS: [HTTP://WWW.SUBMARINECABLEMAP.COM/#/](http://www.submarinecablemap.com/#/)

TABLA 2.4.1

DATOS DE TRÁFICO DE INTERCONEXIÓN INTERNACIONAL

Estadísticas de la Base de Datos de la ITU 2012  
Bolivia

Período 2004-2011

Nombre de la Serie	2004	2005	2006	2007
Porcentaje de viviendas con Internet	2	3.5	3.3	3.3
Banda Ancha de Internet Internacional (bit/s) por usuario	997.91	832.38	689.68	400.57
Banda Ancha de Internet Internacional en Mbit/s	398.00	398.00	398.00	398.00
Subscripción de Broadband Fijo	8,723.00	12,976.00	17,589.00	33,977.00
Subscripción de internet fijo	61,963.00	71,847.00	116,012.00	198,412.00
Costo de Alquiler mensual de 256 kbps en USD				
Porcentaje de viviendas con Internet		3.50	3.30	3.30
Porcentaje de viviendas con Computadora	8.72	12.10	2.90	13.80

Elaboración Propia basados en datos de la BBDD de ITU [3]

**TABLA 2.4.2**  
**DATOS DE TRÁFICO DE INTERCONEXIÓN INTERNACIONAL**

Estadísticas de la Base de Datos de la ITU 2012 Bolivia	Período 2004-2011			
	2008	2009	2010	2011
Nombre de la Serie				
Porcentaje de viviendas con Internet	3.3	5.4	7.5	9.4
Banda Ancha de Internet Internacional (bit/s) por usuario	1,818.17	3,723.65	4,156.84	4,161.67
Banda Ancha de Internet Internacional en Mbit/s	2,186.00	6,114.00	9,246.00	12,595.00
Subscripción de Broadband Fijo	79,314.00	96,134.00	95,937.00	71,819.00
Subscripcion de internet fijo	124,211.00	130,183.00	113,982.00	
Costo de Alquiler mensual de 256 kbps en USD	33.85	34.90	34.92	25.80
Porcentaje de viviendas con Internet	3.30	5.40	7.50	9.40
Porcentaje de viviendas con Computadora	14.70	20.10	23.30	27.00

Elaboración Propia basados en datos de la BBDD de ITU [3]

FUENTE: BASE DE DATOS DE LA ITU, ELABORACIÓN PROPIA

De datos provistos por la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transporte (ATT) se puede apreciar la distribución por departamento del acceso a internet. Ver figura 2.3 De esta figura podemos extraer la concentración que existe de conexiones fijas de internet por departamento

Adicionalmente se incorpora el costo de internet fijo de banda ancha por operador. Ver tabla 2.5. Como se puede apreciar el costo por 256 kbps está por encima de la media de la región convirtiendo al acceso de internet en un bien de consumo de lujo.

Si recordamos del primer capítulo de la presente tesis pudimos comparar los precios de internet con toda la región. Información obtenida de OSIPTEL. Ver figura 2.4. En la figura se puede apreciar la marcada diferencia respecto al resto de países de la región.

### 2.3.2 EVOLUCIÓN DE LÍNEAS DE TELEFONÍA BÁSICA

En la siguiente tabla se puede apreciar el crecimiento continuo de las líneas telefónicas fijas por departamento. Ver tabla 2.6

### 2.3.3 EVOLUCIÓN DE LOS SERVICIOS MÓVILES

Por otro lado tenemos la evolución de los servicios Móviles por departamento. Ver tabla 2.7. En los últimos años ha venido creciendo de forma acelerada alcanzando a más de 8 millones de líneas activas en el 2011.



FIGURA 2.3

CONEXIONES DE Y BANDA ANCHA POR DEPARTAMENTO PARA BOLIVIA

FUENTE: AUTORIDAD DE REGULACIÓN Y FISCALIZACIÓN DE TELECOMUNICACIONES Y TRANSPORTE (ATT)

TABLA 2.5

TARIFAS - CARGO MENSUAL INTERNET, 256Kbps (\$us)

Empresa	2009	2010	2011	2012
AXS	54.86	54.86	35.57	-
COMTECO	60.00	60.00	37.14	37.14
COSETT	70.57	45.43	30.29	30.29
COTAP	64.29	64.29	27.14	27.14
COTAS	29.00	29.00	24.71	24.71
COTEAUTRI	114.14	52.57	52.57	52.57
COTEGUA	171.43	171.43	171.43	171.43
COTEL	82.00	44.29	44.29	44.29
COTEOR	114.29	35.71	35.71	35.71
COTERI	230.00	200.00	200.00	200.00
COTES	50.00	50.00	50.00	50.00
ENTEL	31.43	31.43	31.43	31.43
TELECEL (Wii	45.71	45.71	45.71	45.71
NUEVATEL (V	37.14	37.14	37.14	37.14

Fuente: ATT, en base a datos de los operadores.

PRECIOS DE INTERNET DE VARIOS PAÍSES SUDAMERICANOS						
País	Velocidad (Mbps)	Precio (USD)	USD x Mbps	Promedio USD x Mbps	Salario mínimo (USD) *	1 Mbps como % salario mínimo nacional
<a href="http://www.vivofibra.com.br/pacotes.aspx#tab-2">www.vivofibra.com.br/pacotes.aspx#tab-2</a>						
Brasil	50	35.20	0.7	0.53	320	0.17
	100	52.82	0.5			
	200	70.44	0.4			
<a href="http://www.antel.com.uy/antel/personas-y-hogares/vera#hogar">www.antel.com.uy/antel/personas-y-hogares/vera#hogar</a>						
Uruguay	20	30.46	1.5	0.99	397	0.25
	50	43.72	0.9			
	120	70.19	0.6			
<a href="http://vtr.com/hogar/banda-ancha/">vtr.com/hogar/banda-ancha/</a>						
Chile	10	41.74	4.2	2.57	382	0.67
	20	48.88	2.4			
	120	130.70	1.1			
<a href="http://www.entel.bo/inicio3.0/images/pdf/Internet-ADSL.pdf">www.entel.bo/inicio3.0/images/pdf/Internet-ADSL.pdf</a>						
Bolivia	0.5	21.87	43.7	29.71	174	17.07
	0.768	24.78	32.3			
	5	65.60	13.1			
<a href="http://www.claro.com.ar/wps/portal/ar/pc/personas/internet/pospago#info-06">www.claro.com.ar/wps/portal/ar/pc/personas/internet/pospago#info-06</a>						
Argentina	1	11.65	11.7	5.90	422	1.40
	3	13.98	4.7			
	50	69.80	1.4			
<a href="http://www.claro.com.pe/wps/portal/pe/sc/personas/internet/internet-fijo#info-02a">www.claro.com.pe/wps/portal/pe/sc/personas/internet/internet-fijo#info-02a</a>						
Perú	1	28.44	28.4	17.57	267	6.58
	2	40.89	20.4			
	60	229.37	3.8			
<a href="http://www.copaco.com.py/portal/index.php/internet-click/planes-y-tarifas/click-adsl.html">www.copaco.com.py/portal/index.php/internet-click/planes-y-tarifas/click-adsl.html</a>						
Paraguay	1	22.67	22.7	20.31	411	4.94
	2	38.87	19.4			
	8	150.71	18.8			

FIGURA 2.4  
RENTA MENSUAL PARA EL SERVICIO DE INTERNET – BANDA ANCHA EN LA REGIÓN  
FUENTE: ATT TARIFAS VIGENTES A MAYO 2014

TABLA 2.6

BOLIVIA: DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS FIJAS EN SERVICIO, SEGÚN DEPARTAMENTO (Número de Líneas)							
DESCRIPCION	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011(p)
<b>TOTAL</b>	646.291	667.38	684.934	696.303	707.181	752.081	777.937
CHUQUISACA	29.626	29.095	29.921	30.966	31.455	32.719	33.239
LA PAZ	208.309	214.48	218.372	218.96	220.224	222.325	222.486
COCHABAMBA	153.251	161.127	170.257	181.789	180.012	193.44	206.075
ORURO	39.166	42.19	42.044	42.074	44.738	41.917	43.556
POTOSÍ	20.493	21.288	20.592	21.034	21.25	21.476	21.606
TARIJA	30.285	29.96	31.487	32.14	33.535	33.692	33.55
SANTA CRUZ	150.127	151.831	155.271	151.784	158.891	188.043	198.03
BENI	13.397	15.346	14.732	15.298	14.838	16.232	17.041
PANDO	1.637	2.063	2.258	2.258	2.238	2.237	2.354

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE) DE BOLIVIA

FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS BOLIVIA, ELABORACIÓN PROPIA



**TABLA 2.7**

BOLIVIA: DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS MÓVILES EN SERVICIO, SEGÚN DEPARTAMENTO  
(Número de Líneas)

DESCRIPCION	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011(p)
<b>TOTAL</b>	2.421.402	2.740.636	3.265.445	5.050.389	6.464.390	7.179.293	8.353.273
CHUQUISACA	73.941	91.851	128.332	191.478	286.926	310.466	383.319
LA PAZ	747.499	862.723	1.005.027	1.546.984	1.905.499	2.102.975	2.445.102
COCHABAMB							
A	448.912	488.317	540.183	893.334	1.159.813	1.263.296	1.436.477
ORURO	97.81	127.723	165.881	259.551	342.648	384.926	444.974
POTOSÍ	64.738	91.22	129.304	199.451	280.463	319.43	413.545
TARIJA	98.274	122.034	163.354	234.087	324.226	380.033	421.046
SANTA CRUZ	842.316	888.797	1.041.408	1.574.722	1.956.758	2.127.876	2.452.885
BENI	37.836	53.873	72.397	124.175	173.274	221.751	271.935
PANDO	10.076	14.098	19.559	26.607	34.783	68.54	83.99

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE) DE BOLIVIA

FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS BOLIVIA, ELABORACIÓN PROPIA

A continuación en la tabla 2.8 se aprecia el detalle conexiones de internet por tecnología y medio de acceso.

**TABLA 2.8**  
**CONEXIONES A INTERNET A NIVEL NACIONAL CON VELOCIDADES DE BANDA ANCHA**  
**SOBRE CONEXIONES DIAL-UP.- MOVILES**

Medio de Acceso	Conexiones de Internet					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Acceso conmutado o dial-up</b>	48,073.00	38,854.00	28,857.00	16,854.00	8,427.00	3,370.80
<b>ADSL</b>	60,518.00	75,653.00	88,353.00	88,100.00	94,267.00	100,865.69
<b>Cable HFC</b>	344.00	2,204.00	5,196.00	7,019.00	8,282.42	9,773.26
<b>WiMax</b>	285.00	9,077.00	21,864.00	24,419.00	28,814.42	34,001.02
<b>Inalámbricos</b>	4,139.00	3,470.00	2,650.00	2,305.00	2,719.90	3,209.48
<b>On Line</b>	601.00	629.00	671.00	679.00	801.22	945.44
<b>Otros</b>	25.00	300.00	501.00	39,216.00	46,274.88	54,604.36
<b>Acceso a través de telefonía Móvil</b>	33,825.00	57,085.00	74,401.00	92,037.00	108,603.66	128,152.32
<b>Total</b>	147,810.00	187,272.00	222,493.00	270,629.00	298,190.50	334,922.36

Elaboración Propia basado en datos de ATT Bolivia

FUENTE ATT BOLIVIA, ELABORACION PROPIA

Por otro lado en la tabla 2.8 nos muestra el total de conexiones de internet en Bolivia incluyendo las de acceso celular/móvil. El presente trabajo de tesis solo toma en cuenta el tráfico de internet fijo por lo tanto los datos que se tomaron en cuenta para determinar el número de conexiones a internet es presentado en la tabla 2.9

**TABLA 2.9**  
**CONEXIONES A INTERNET A NIVEL NACIONAL FIJA**

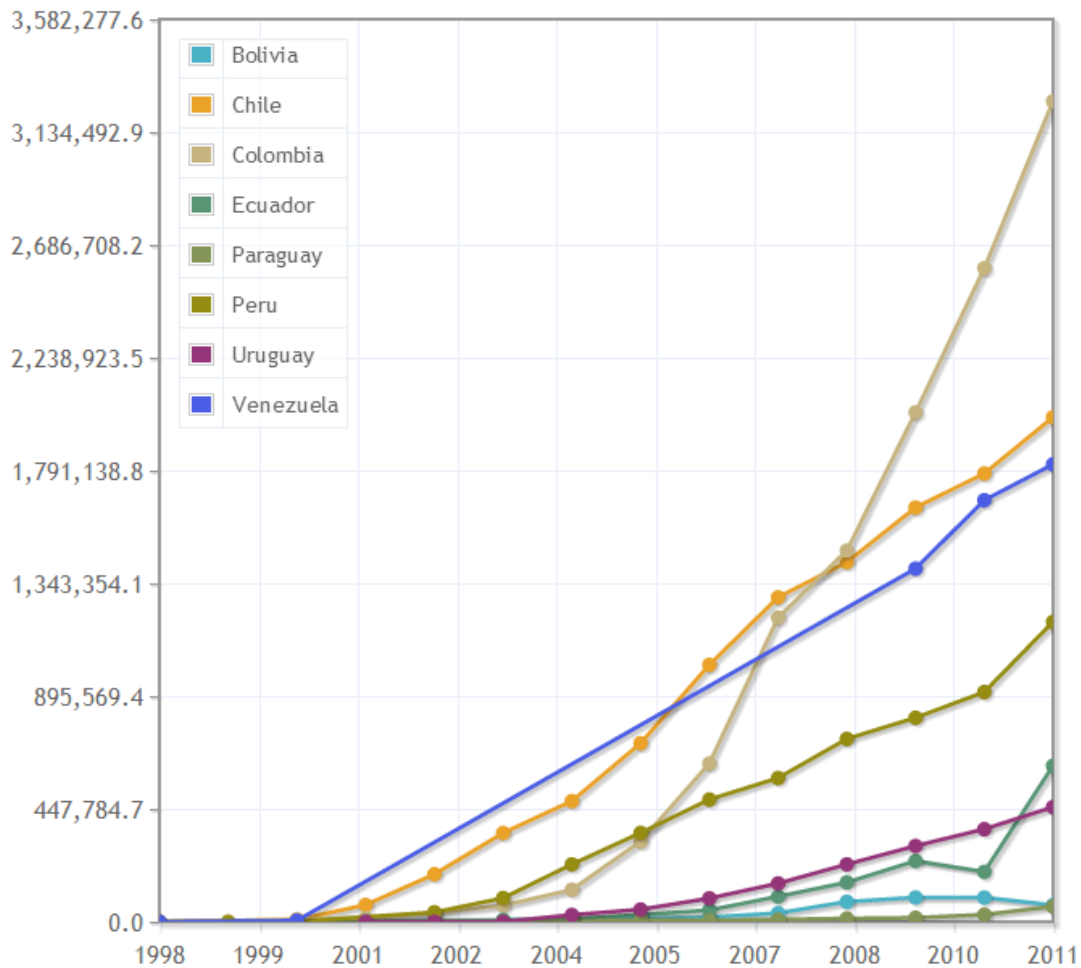
Medio de Acceso Fijo	Conexiones de Internet Fijo					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	113,960.00	129,887.00	147,591.00	139,376.00	143,311.96	152,165.68

FUENTE ATT BOLIVIA, ELABORACION PROPIA

## 2.4 ESTADO FUTURO DE LA TELECOMUNICACIONES EN BOLIVIA.

### 2.4.1 DEMANDA ESTIMADA DE BANDA ANCHA INTERNACIONAL

Luego de analizar el estado actual de las comunicaciones en Bolivia. La necesidad por uso intensivo de internet es tan evidente. En un artículo de prensa [36] aseguro que si bien el acceso a internet a través de los servicios móviles es el más económico de la región los servicios de alta demanda de uso de internet como las líneas ADSL, y servicios STM1 , STM -4, STM-16 son muy elevados. Una de las razones que la autoridad puntualiza es el costo de megabit en frontera. En el capítulo 1 se evaluó y justifico las razones del porqué de estos precios. Una de ellas es debido a la poca oferta de infraestructura de interconexión de transporte a través de líneas de alta velocidad en este caso vías de fibra óptica.



**FIGURA 2.5**  
**COMPARACIÓN ENTRE PAISES DE LA REGIÓN**  
**CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE LINEAS FIJAS DE BANDA ANCHA.POR PAÍS**  
 FUENTE: WORLD BANK, WORLD DEVELOPMENT INDICATORS - LAST UPDATED APRIL 23, 2013

Para realizar el cálculo de la demanda proyectada se utilizó valor obtenidos en la base de datos de los indicadores de desarrollo del Banco Mundial. Ver figura 2.9

La figura anterior nos permitió calcular la media de crecimiento de los últimos 10 años de los subscriptores de banda ancha.

A partir de los datos obtenidos en el párrafo anterior y de la tabla 2.9 se desarrolló la siguiente tabla donde se estima la capacidad requerida en Gbit/s para el 2023 cifra que será utilizada para desarrollar el diseño del tramo de fibra en el capítulo 4. Ver tabla 2.10

Cálculos para determinar el ancho de banda necesario que debería pasar por la salida internacional de Perú en los próximos años.

En la columna A se ha obtenido a partir de los datos provistos por la ATT y se proyectó en base al promedio de crecimiento de los últimos años en el sector que corresponde al 5.82%. Esta líneas solo toman en cuenta el tráfico de líneas de banda ancha fijas no móviles.

En la columna B a partir del año 2011 se extiende el crecimiento calculado en el punto anterior.

**TABLA 2.10**  
**ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO BROADBAND PARA BOLIVIA**  
**(PROYECTADO EN GBIT/S – RAMAL PERUANO)**

Años	Líneas BB En Miles	Crecimiento Promedio de las líneas últimos años.	BW Mb/s	Rate de Crecimiento	Gb/s Total	Gb/s Internet BW Overbooking 1:1	Gb/s Ramal Perú	Años
	A	B	C	D	E	F	G	
2007	113.00	1.126						2007
2008	129.00	1.12						2008
2009	147.00	0.58						2009
2010	139.00	1.03			0	0		2010
2011	143.00	1.06	1.5	7%	215	215	72	2011
2012	151.58	1.06	1.6	7%	243	243	81	2012
2013	160.67	1.06	1.7	7%	276	276	92	2013
2014	170.32	1.06	1.8	7%	313	313	104	2014
2015	180.53	1.06	2.0	7%	355	355	118	2015
2016	191.37	1.06	2.1	8%	403	403	134	2016
2017	202.85	1.06	2.3	8%	461	461	154	2017
2018	215.02	1.06	2.5	8%	528	528	176	2018
2019	227.92	1.06	2.7	8%	604	604	201	2019
2020	241.60	1.06	2.9	8%	692	692	231	2020
2021	256.09	1.06	3.1	9%	792	792	264	2021
2022	271.46	1.06	3.4	9%	915	915	305	2022
2023	287.74	1.06	3.7	9%	1057	1057	352	2023
2024	305.01	1.06	4.0	9%	1221	1221	407	2024
2025	323.31	1.06	4.4	9%	1411	1411	470	2025
2026	342.71	1.06	4.8	10%	1630	1630	543	2026
2027	363.27	1.06	5.2	10%	1901	1901	634	2027
2028	385.07	1.06	5.8	10%	2216	2216	739	2028
2029	408.17	1.06	6.3	10%	2584	2584	861	2029
2030	432.66	1.06	7.0	10%	3013	3013	1004	2030

FUENTE: DATOS PROVISTO DE LA BASE DE DATOS ITU, ATT, VICEMINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES, ELABORACIÓN: AUTOR DE TESIS

En la columna C se estima la banda ancha fija promedio en Mbps que ha tenido Bolivia para el año 2011 a partir de allí se establece un crecimiento del 7 % los primeros 5 años incrementado este crecimiento de forma gradual cada 5 años desde 7% al 15%

En la columna E resulta de la multiplicación de la columna C y la A en la que obtenemos ancho de banda total estimada que necesitara el país.

En la columna F se estimó el ancho de banda real demandado en la Red troncal, multiplicando por el factor 1. Este factor resulta de considerar que no existe overbooking. Los resultados se muestran en la columna F.

Para esta tesis se ha considerado que los clientes de este tramo de fibra no se tratan de empresas comerciales ni de personas naturales. Si no más bien se trata de operadores ISP que tienen desplegadas sus redes hasta la frontera. Bajo esta conjetura el overbooking no debería existir por lo tanto el tráfico es simétrico de 1 a 1 hasta la frontera.

En el cálculo final de la columna G el resultado obtenido en la columna F se divide entre el número de conexiones internacionales que tiene hasta el momento Bolivia. Estas son tres Argentina, Chile y Perú todos repartidos de forma equitativa.

Como conclusiones de este cálculo nos muestra la cantidad de Gbit/s requeridos en los próximos años que deberán cursar a través de la fibra óptica.

A continuación se desarrolla el capítulo 3 donde se detalla la infraestructura de transporte en las regiones de las ciudades Moquegua y Desaguadero en el lado Peruano.

## CAPÍTULO 3 PANORAMA DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE DE DATOS EN PERÚ

En este Capítulo nos concentramos en analizar la oferta de backhaul de transmisión para datos en el Perú. Sobre todo en la oferta de transporte de datos localizado en las provincias peruanas por donde atravesara el tramo de fibra propuesto en el siguiente capítulo.

Nos basamos en el informe de la comisión multisectorial encargada para elaboración del plan nacional de desarrollo de la banda ancha y además de documentos como el plan estratégico institucional del Ministerios de Transportes y Comunicaciones y estadísticas de los servicios públicos de telecomunicaciones a nivel nacional contrastados con datos de la ITU [3].

### 3.1 GEOGRAFÍA Y DEMARCACIÓN GEOPOLÍTICA

#### 3.1.1 UBICACIÓN Y SUPERFICIE

El Perú está situado en la zona centro – occidental de América del Sur, tiene una extensión territorial de 1.28 millones de km<sup>2</sup>, presenta una geografía accidentada surcado por la Cordillera de los Andes, dando lugar a la existencia de tres regiones naturales (Costa, Andina, Selva) [42].

El 2011, las proyecciones del INEI estima que el Perú tiene una población de 29.8 millones de habitantes con una tasa de crecimiento de 1.6% anual [42].

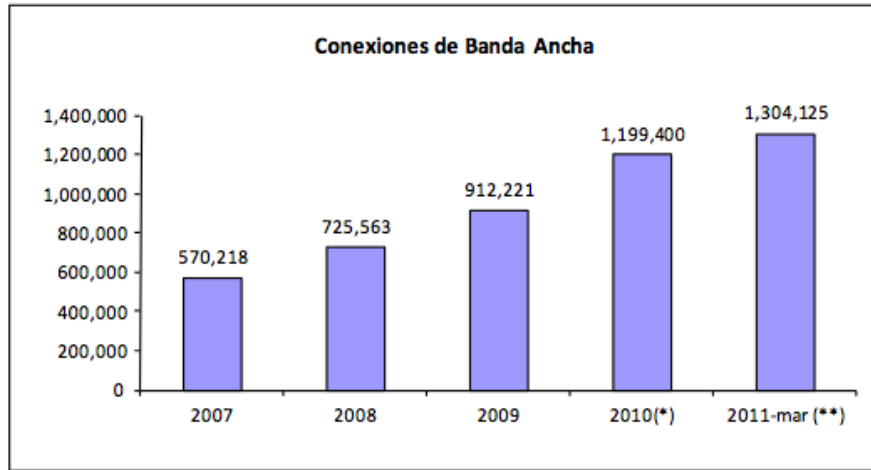
El mercado de las telecomunicaciones en el Perú ha experimentado un importante crecimiento en todos los servicios desde su apertura. Sin embargo aún existe un déficit de infraestructura a nivel nacional estimado en 5,446 millones de dólares al 2010 [45], lo que se traduce en que aun algunos distritos carecen de acceso a los servicios de telecomunicaciones. A partir de datos del MTC hasta septiembre del 2011, 149 distritos (8.1%) no cuentan con acceso a internet.

### 3.2 ESTADO ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN PERÚ

#### 3.2.1 RED DE TRANSMISIÓN DE DATOS NACIONAL

El desarrollo y uso creciente de las tecnologías de la información y en especial del Internet, ejerce un gran impacto en los ámbitos de la sociedad, principalmente por su tendencia a la masificación y por representar un medio eficaz para difundir y acceder a todo tipo de información. El mercado peruano ha evidenciado un desenvolvimiento positivo los últimos años. El acceso a Internet ha permitido una cobertura en el 2011 de 1685 distritos [3].

Aunque la inversión y demanda en infraestructura de telecomunicaciones en los últimos años ha seguido creciendo ver figura 3.1, aún existen muchas capitales de provincia que aún no cuenta con infraestructura de fibra óptica. Ver Tabla 3.1 y 3.2.



**FIGURA 3.1**  
EVOLUCIÓN DE LA CONEXIONES DE BANDA ANCHA A NIVEL NACIONAL  
FUENTE: MTC, ELABORACIÓN PROPIA \*\* SOLOS DATOS PARCIALES

**TABLA 3.1**  
CAPITALES DE PROVINCIA SIN FIBRA ÓPTICA

CAPITALES DE PROVINCIA (DISTRITO) SIN FIBRA OPTICA		
<b>COSTA</b>	(ANCASH, AREQUIPA, LA LIBERTAD, LAMBAYEQUE, LIMA, MOQUEGUA, 39 PIURA, TACNA)	
<b>SIERRA</b>	(APUTIMAC, AYACUCHO, CAJAMARCA, CUZCO, HUANCAMELICA, HUANUCO, JUNIN, 73 PASCO, PUNO)	
<b>SELVA</b>	(AMAZONAS, LORETO, MADRE DE DIOS, SAN MARTIN, UCAYALI) 30	

Fuente: MTC (Marzo 2013), Elaboración: Propia

Como ya se describió en el primer capítulo de la tesis los sistemas de comunicaciones requieren no sólo de redes de acceso para la prestación de sus servicios sino sobre todo es necesario contar de una red de transporte (backhaul).

A partir de datos provistos por el MTC [45]. La extensión de la red transporte dorsal que componen el backbone y backhaul en Perú con fibra óptica alcanza una longitud aproximada de 9000 km. Esta red se encuentra desplegada principalmente en toda la costa. Dejando el resto del país en condiciones menos favorables. Ver figura 3.2. Esta

red dorsal está constituida y administrada por el sector privado las empresas que proveen esta capacidad están detalladas en la tabla 3.3.

**TABLA 3.2**  
**POTENCIAL DE BANDA ANCHA**

<b>Potencial de Banda Ancha</b>	<b>Número de Capitales de Provincia (Distrito) sin Fibra Óptica</b>
1 Demanda muy baja	11
2 Demanda baja	58
3 Demanda media	58
4 Demanda alta	14
5 Demanda muy alta	1

Fuente: MTC (Marzo 2013), Elaboración: Propia

**TABLA 3.3**  
**TENDIDO DE FIBRA ÓPTICA**

<b>Tendido de Fibra Óptica (km)</b>		
<b>Nro</b>	<b>Empresa</b>	<b>Longitud</b>
1	Telefónica del Perú	4008
2	Telmex Perú/América Móvil	3225
3	Internexa	1293
4	Global Crossing	252
5	Americatel Perú	92
6	Optical IP Servicios Multimedia	63

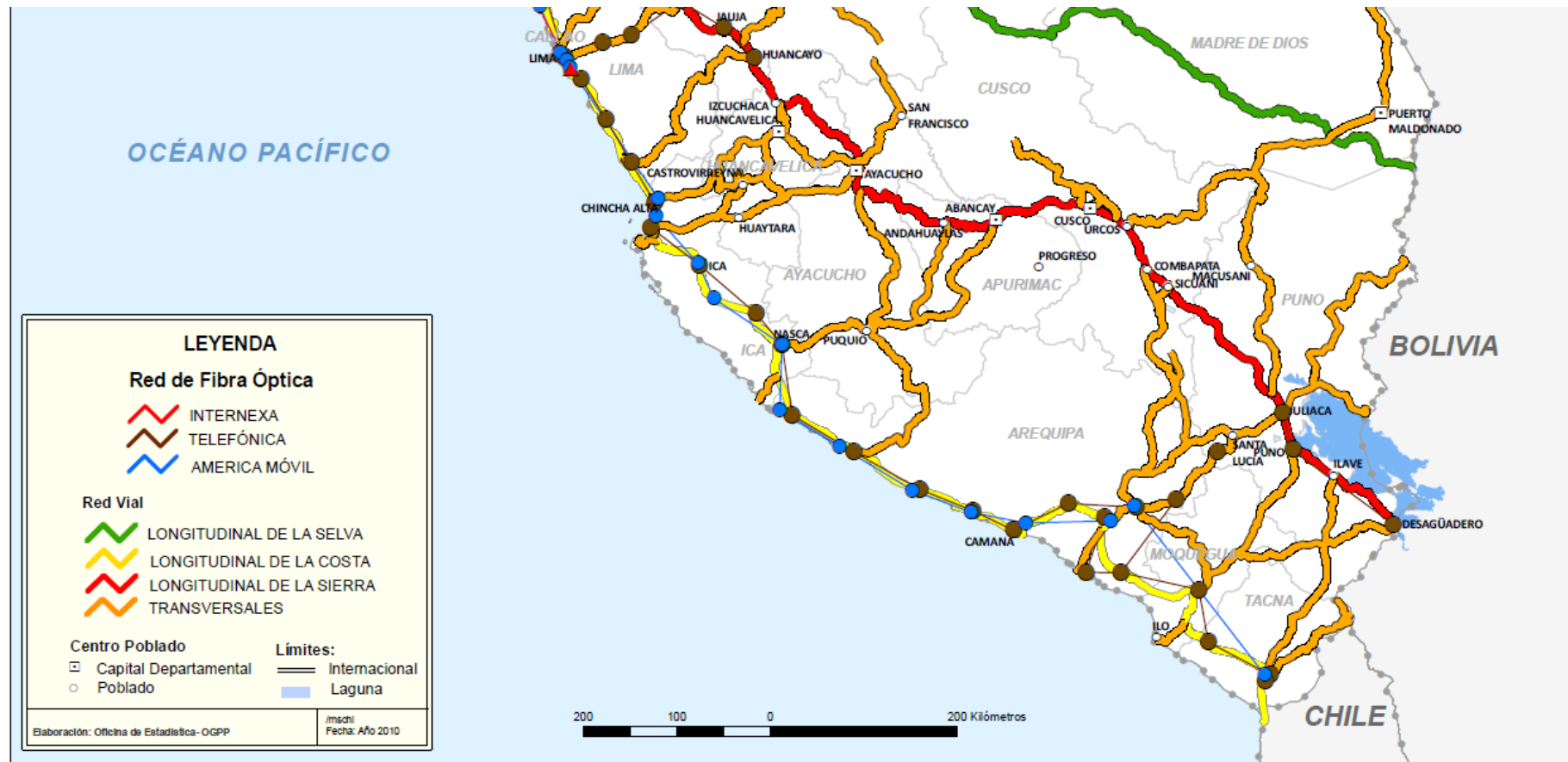
Fuente: Empresas Operadoras a Marzo 2010  
Elaboración: Propia

A su vez, en la red dorsal todas las empresas cuentan con nodos de interconexión, puntos en los cuales se puede agregar o extraer tráfico. Ver tabla 3.4.

**TABLE 3.4**  
**NODOS PARA INTERCONEXIÓN ENTRE PROVEEDORES**

<b>Número de Nodos de Fibra Óptica</b>		
<b>Nro</b>	<b>Empresa</b>	<b>Nodos</b>
1	Telefónica del Perú	52
2	Telmex Perú / América Móvil	46
3	Internexa	11

Fuente: Empresas Operadoras a Marzo 2010  
Elaboración: Propia



**FIGURA 3.2**  
**RED NACIONAL DE FIBRA OPTICA Y DE CARRETERAS**  
FUENTE: DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES, MTC



En la figura 3.2 se puede apreciar estos nodos de interconexión, además se puede observar que la red dorsal mayormente se concentra en la costa peruana.

Dada la importancia de contar con una red dorsal en las regiones y departamentos donde no existe actualmente esta infraestructura de alta capacidad y calidad, el gobierno nacional a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL) lanzaron varios procesos de licitación, con la finalidad de proveer servicios de telecomunicaciones a localidades rurales y de preferente interés social, entre lo que tiene programado y esta ejecución está el ampliar la cobertura del tendido de fibra óptica en la sierra y selva del país [42].

En la tabla 3.5 se puede apreciar el resumen de los proyectos mencionados y que se están implementando en estos momentos.

**TABLA 3.5**  
**PROYECTOS FITEL QUE PERMITIRÁN EL DESPLIEGUE DE BANDA ANCHA**

Nombre del Proyecto	Estado de Ejecución	Tendido/Usos de Fibra óptica
Banda Ancha Rural Juliaca - Puerto Maldonado	Fibra óptica en construcción adjudicada via Proinversión a America Movil	Fibra nueva : 470km
Banda Ancha Buenos Aires - Canchaque	Fibra óptica en construcción, adudicada por ProInversión a Winner Systems	Fibra Nueva: 220km
Cobertura Universal Norte, Centro y Sur	Fibra óptica en construcción, adjudicada por Proinversión	Fibra Nueva:Aproxima da 5000 km

FUENTE: FITEL Y MTC, ELABORACIÓN PROPIA.

Adicionalmente a los proyectos mencionados el año pasado Pro-inversión dio la Buena Pro al proyecto de "Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica: Cobertura Universal Norte, Cobertura Universal Sur y Cobertura Universal Centro", que consiste en el diseño, construcción, adquisición, puesta en funcionamiento, operación y mantenimiento de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica - RDNFO (aprox. 13,400 km) para conectar a 22 capitales de región y 180 capitales de provincia. [53]

El Proyecto "Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica: Cobertura Universal Norte, Cobertura Universal Sur y Cobertura Universal Centro" tiene dos componentes: el Componente de Transporte y el Componente de Acceso de señales de telecomunicaciones.

El Componente de Transporte del Proyecto consiste en el diseño, construcción y operación de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica para conectar Lima con las capitales de región y éstas con sus capitales de provincia, a través del tendido de una red de fibra óptica.[53]

El Componente de Acceso consiste en el diseño, la construcción y operación de sistemas inalámbricos y de microondas en los centros poblados cercanos a la ruta de la red de fibra óptica, y en la prestación de servicios de telefonía fija, telefonía de abonados y acceso a Internet a sus habitantes, a través de una red de enlaces de radio frecuencia. [53]

El alcance del Proyecto es el siguiente: ver tabla 3.6

**TABLA 3.6**  
**ALCANCES RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA**

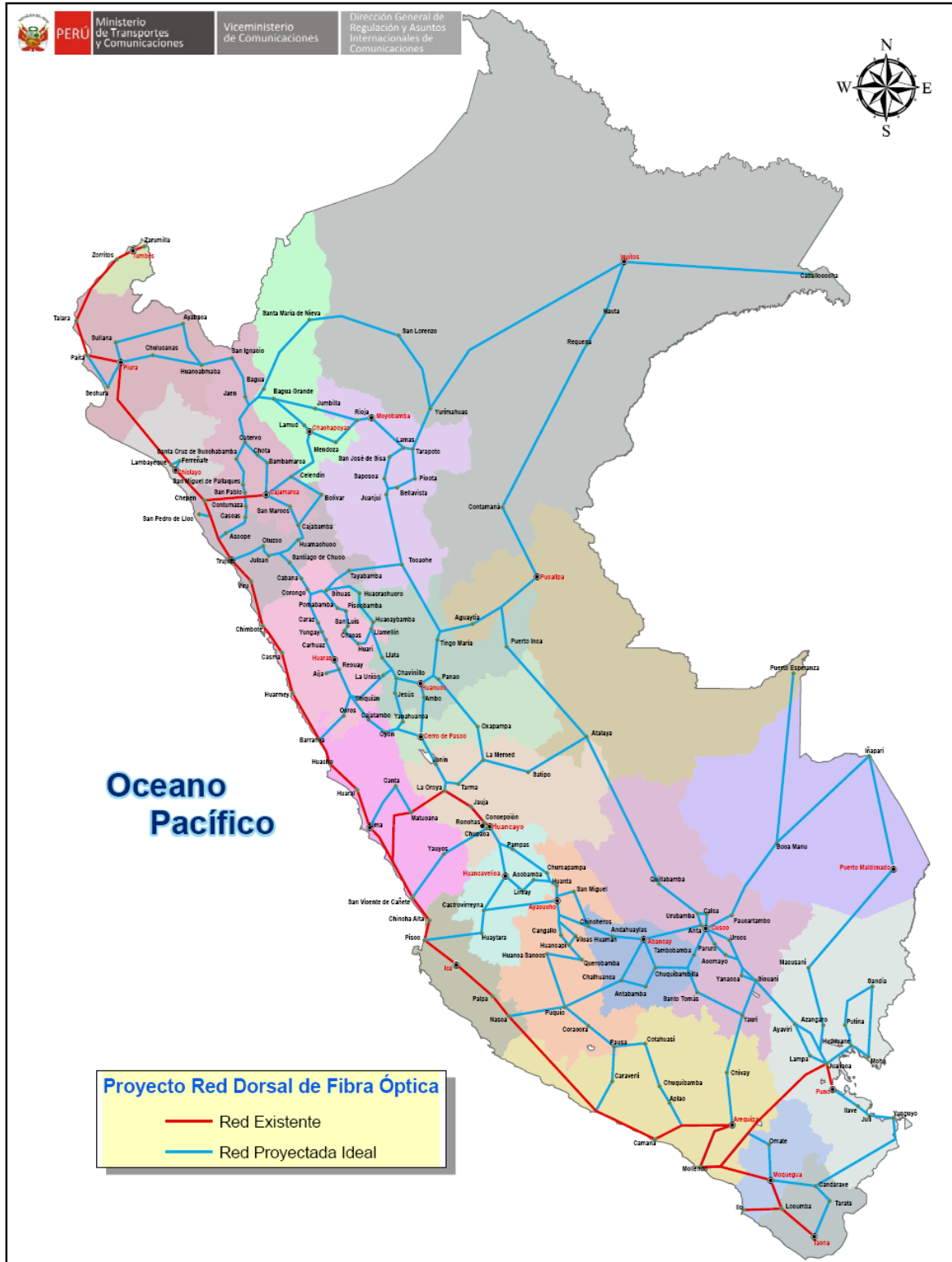
<b>Servicio/ Proyecto</b>	<b>Cobertura Universal</b>	<b>Cobertura Universal Norte</b>	<b>Cobertura Universal Centro</b>	<b>Total</b>
Telefonía Pública	241	191	350	782
Telefonía de Abonados	36	31	23	90
Acceso a Internet	387	161	210	758
Fibra Óptica	7,000 km	3,295 km	3,100 km	13,395 km

FUENTE: PRO INVERSIÓN [53], ELABORACIÓN: PROPIA

La alternativa seleccionada para la red de transporte de fibra óptica podrá utilizar para diversos tramos la infraestructura de las redes de transmisión eléctrica de alta y media tensión de las empresas de transporte de energía eléctrica para construir la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica que conectará a las capitales de provincia del país incluidas en el proyecto, y desde las cuales se implementará una red inalámbrica para atender la demanda de los usuarios de los centros poblados rurales seleccionados por el Proyecto u otros que puedan ser atendidos por diferentes operadores de telecomunicaciones.

Inversión estimada del Componente Transporte (Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica): aprox. US\$ 276 millones, sin IGV. [53]

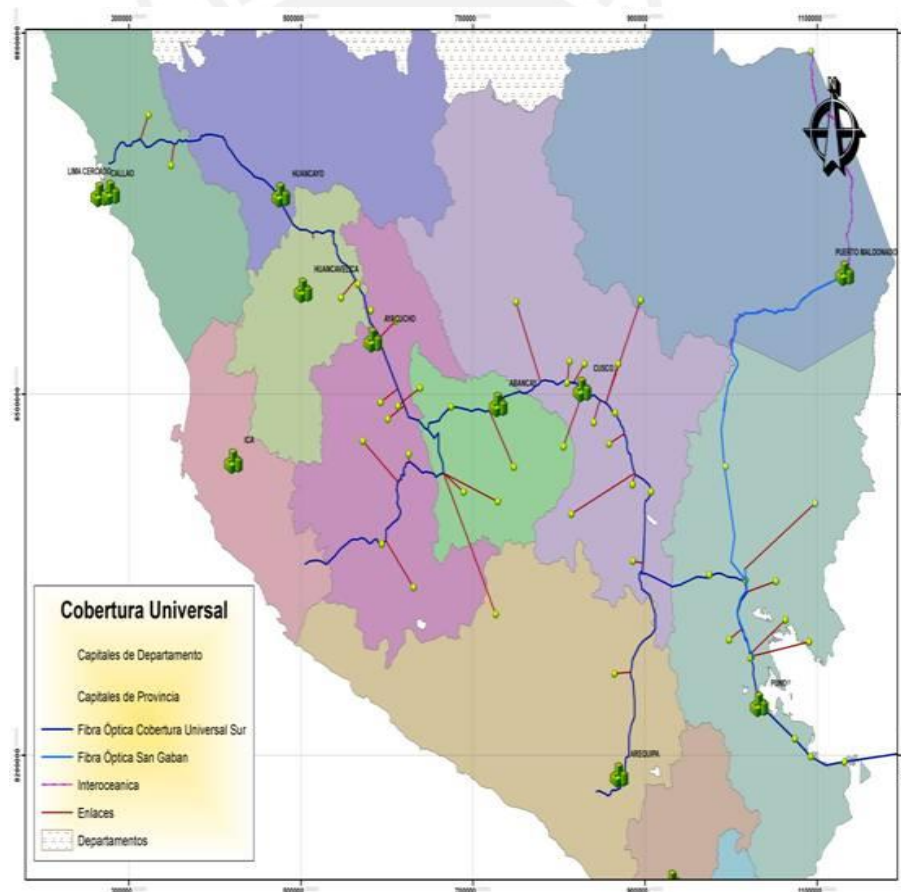
En la figura 3.3 se despliega la red dorsal que abarcara las regiones de la Sierra, Selva y Centro del territorio peruano.



**FIGURE 3.3**  
**PROYECTO DE RED DORSAL DE FIBRA OPTICA FUENTE: MTC [47]**  
**FUENTE: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES**

Dentro del proyecto de construcción de red dorsal se tiene contemplado el dar cobertura al sur del territorio nacional. El mismo partirá desde Lima (para brindar la interconexión) y abarca los departamentos de Junín, Huancavelica, Ayacucho, Ica, Apurímac, Cusco, Arequipa y Puno, las cuales hacen un recorrido total de 3,500 km aproximadamente. El cual integrará y brindará servicios de telecomunicaciones a 571 localidades, conformando una red de localidades beneficiarias la cual se denominará Red Cobertura Universal Sur. Esta red permitirá el acceso a diversos servicios de información y contenidos, de manera local, sin la necesidad de conectarse a otras redes como Internet. [54]

Para alcanzar ese objetivo, se ha considerado la participación de entidades públicas y privadas, entre las más destacadas están siendo notable la participación de las Empresas Eléctricas dado que se espera emplear su infraestructura para el tendido de Fibra Óptica. [54] ver figura 3.4.



**FIGURE 3.4**  
**COBERTURA UNIVERSAL SUR (PROYECTADO 2018)**  
**FUENTE: FITEL [54]**

Todo lo mencionado hasta ahora son proyectos que se encuentran en ejecución y dada la magnitud de los mismos se tiene estimado la finalización de ellos en los próximos dos años.

Por otro lado la infraestructura actual de alta capacidad de tráfico de datos en esta misma región está dada a través de dos empresas. Telefónica del Perú S.A. y de Level 3 S.A. ver figura 3.5.

En la actualidad solo existe un proveedor de transporte de datos con llegada internacional con Bolivia (Desaguadero). [50]



**FIGURA 3.5**  
**INTERCONEXIÓN DE BOLIVIA POR TERRITORIO PERUANO**  
Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones 2012

A continuación en el capítulo 4 se describe el diseño del tramo de fibra a ser construido como parte de esta tesis para solventar la creciente demanda por capacidad de transporte de datos de internet para el Estado Plurinacional de Bolivia a partir de estimaciones y cálculos desarrollados en capítulos previos.

## CAPÍTULO 4 DISEÑO DE LA RED DE TRANSPORTE ENTRE DESAGUADERO Y MOQUEGUA

### 4.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

El diseño de redes ópticas en general implica analizar y fijar una serie de parámetros con el fin de cumplir el propósito principal de transportar los datos de los usuarios entre dos nodos extremos garantizando cierta calidad de servicio. Por lo tanto se infiere que esta situación requiere de un compromiso entre tecnología, arquitectura de la red, limitaciones de los dispositivos ópticos, cantidad de lambdas a usar y tasas de bits esperadas.

Dada la evolución y el desarrollo de la oferta comercial de nuevos servicios informáticos de valor agregado, como video bajo demanda, servicios de videoconferencia remota, telemedicina, aplicaciones multimedia, entre otros, las empresas de telecomunicaciones, como carriers y operadores, han implementado nuevas tecnologías de multiplexación sobre los enlaces de fibra óptica existentes, de este modo dar soporte a los nuevos requerimientos de banda ancha [27].

En el diseño y la implementación de las redes se intenta reducir los costos tanto de OPEX como de CAPEX, derivados de la operación de la red y de las obras civiles de instalación de fibra óptica. Como se vio en el primer capítulo la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) es una tecnología que se utiliza en la transmisión de varias longitudes de onda sobre una misma fibra sin interferencia mutua; cada longitud de onda representa un canal óptico dentro de la fibra. Un sistema WDM posee métodos ópticos que permiten combinar dichos canales dentro la fibra y extraerlos en puntos apropiados a lo largo de la red. Al transmitir simultáneamente varios canales, se logra incrementar el ancho de banda del medio de transmisión, el cual es equivalente a la capacidad individual de cada longitud de onda por el número de estas. Un sistema básico utiliza un multiplexor para unir las señales y un demultiplexor para separarlas. El sistema puede ser unidireccional o bidireccional, de acuerdo con los dispositivos de multiplexación. En el caso bidireccional, la información se transmite en canales diferentes para cada sentido. Para esta tesis se utilizara el sistema de multiplexación DWDM bidireccional. De este modo se desplegara un número menor de fibras dada las características de esta tecnología.

Otra de las razones por las que se considera esta tecnología es la transparencia, pues en cada una de las longitudes de onda se puede transportar una señal en varios formatos (SONET/SDH, ESCON, Gigabit Ethernet, ATM/IP, entre otros) a diferentes regímenes de velocidad.

Todo el tráfico cliente ingresará a través de Muxponders TDM de 4x2.5 Gbps, donde cada puerto estará configurado para usar transceiver óptico SFPs de 2.5 Gbps

Mediante el uso de los tranceptores SFPs se ofrece al cliente la facilidad de conectarse a un muxponder o varios si es necesario diferente régimen de velocidad, por medio de una variedad de módulos SFPs que trabajan a 2.5 Gbps, 10Gbps. Esto permite brindar flexibilidad en servicios que se ofertaran a los ISP en el lado Boliviano.

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El tramo de fibra que se quiere diseñar corresponde al tramo entre dos ciudades que se encuentran en territorio peruano (Moquegua, Desaguadero). Siendo la segunda una ciudad fronteriza con el Estado Plurinacional de Bolivia. Ver figura 4.1.

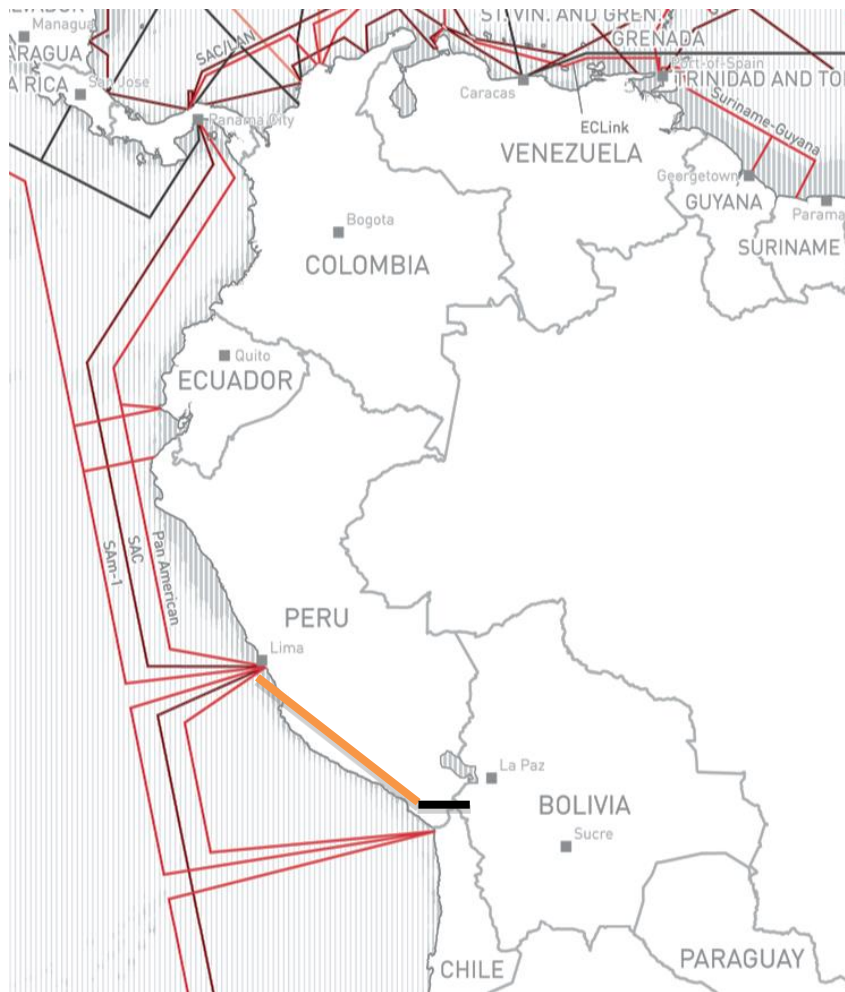


**FIGURA 4.1**  
DESCRIPCIÓN DE ZONA A SER INTERVENIDA POR EL TRAMO DE FIBRA  
FUENTE: GOOGLE MAPS, ELABORACIÓN PROPIA

El objetivo de este capítulo es brindar una alternativa técnicamente viable de transporte internacional de datos para Bolivia. De este modo incrementar la oferta de alquiler de líneas de interconexión. De este modo se espera generar un entorno más competitivo en

la frontera para el beneficio de la población del país vecino reduciendo el costo de megabit en frontera asegurando el cubrir la demanda de los próximos años de capacidad de banda ancha internacional.

Para cumplir estos objetivos utilizaremos las redes de fibra ya en servicios y proyectadas entre el nodo NAP de Lurín en Lima y la ciudad de Moquegua (línea de color naranja) en la figura 4.2. A partir de allí extender la oferta de capacidad que hay en Moquegua hasta el Desaguadero (la línea de color negra).



**FIGURA 4.2**  
**PUNTOS DE INTERCONEXION Y SALIDA INTERNACIONAL**  
FUENTE: ITU, ELABORACIÓN PROPIA.

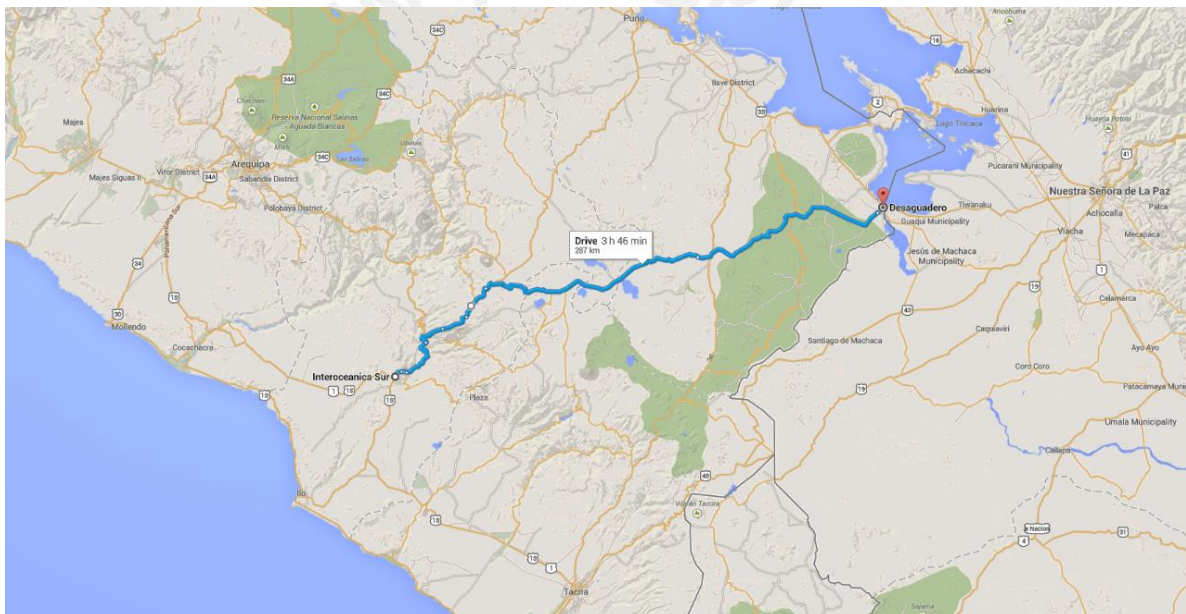
De este modo con este tramo nuevo de fibra óptica construido se estima cubrir la demanda (ver capítulo 2) de Internet de alta velocidad tanto la actual pero sobretodo futura para el Estado Plurinacional de Bolivia.

El tramo de fibra que se tiene contemplado diseñar corresponde a 250 km de Fibra Punto a Punto. Ver figura 4.3.



La construcción del diseño se presenta más adelante en este capítulo se basó en recomendaciones de la ITU [3] como también del documento público provisto por FTEL correspondiente a la “Red Dorsal” el cual pretende construir una red dorsal para atender a las regiones con poco o ningún acceso de internet de alta velocidad. En el capítulo anterior se describe por donde transitara el nuevo tendido de fibra en esta región que corresponde a la red dorsal.

Cabe también mencionar que el diseño contempla la arquitectura lógico y física de la propuesta de diseño de la red dorsal a ser licitada a finales del 2013. De acuerdo a los datos proporcionados por FTEL. Ver figura 4.4 el trazado de la red dorsal no pasa por la ruta que se propone en esta tesis. Por lo tanto el tramo Moquegua-Desaguadero podría ser utilizado una ruta alterna o de backup. Esa estimación queda fuera del alcance de este documento.



**FIGURA 4.3**

**RUTA APROXIMADA DEL TENDIDO DE FIBRA ENTRE MOQUEGUA Y DESAGUADERO**

FUENTE: DATOS DE GOOGLE EARTH, ELABORACIÓN PROPIA

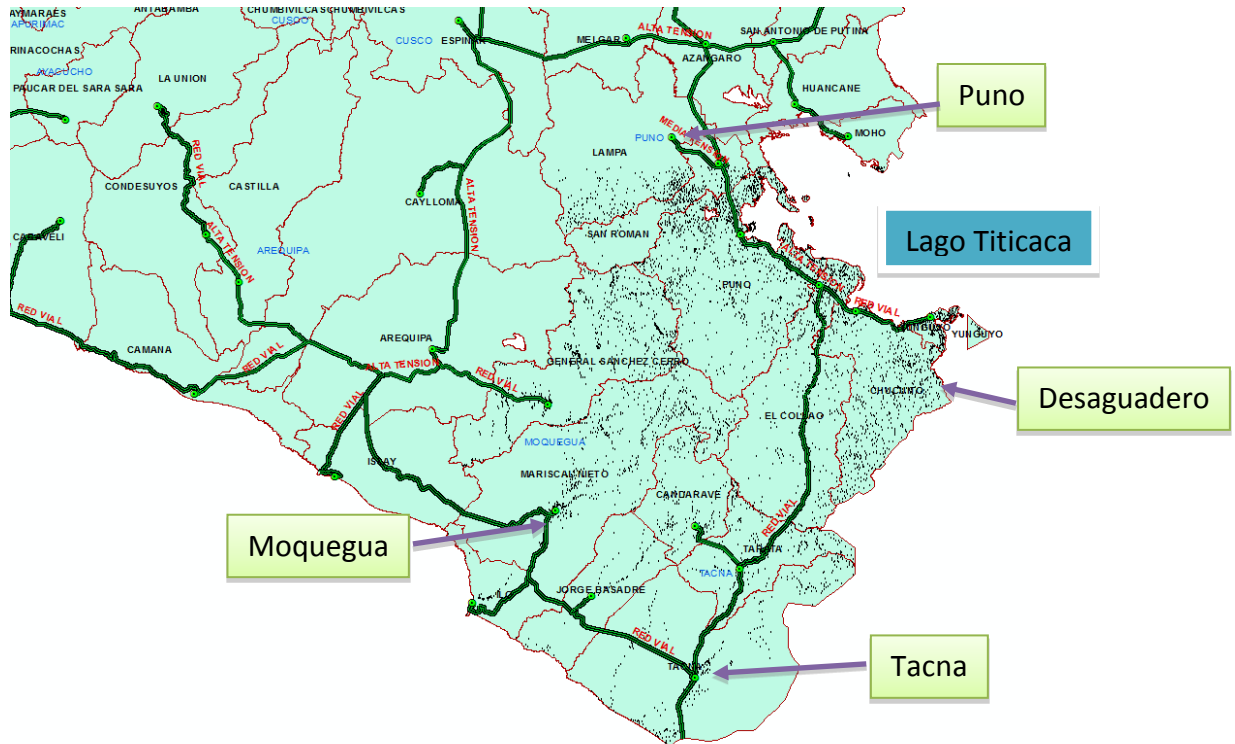


FIGURA 4.4

**PROPUESTA DE RED DORSAL EN LA ZONA DE ESTUDIO**

FUENTE: BASADA EN INFORMACIÓN PROVISTA POR FITEL (MAYO, 2013), ELABORACIÓN PROPIA

### 4.3 PROPUESTA DEL TRAMO DE RED DE FIBRA

Por lo expuesto hasta este momento es necesario construir un tramo de Fibra Óptica entre los puntos propuestos para ello se necesita diseñar una red DWDM en torno a la tercera ventana de  $\lambda=1550$  nm, pues según el estudio de tráfico del capítulo 2, para cubrir la demanda de ancho de banda para el año 2023 se necesitaran 352 Gbps. Ver tabla 4.1.

Los sistemas DWDM son capaces de transportar señales ópticas con grandes anchos de banda. En general los sistemas DWDM utilizan láseres que tienen una velocidad de bit de 10 Gbps (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda. Esto provee un máximo de 2,4 Tbps sobre una sola fibra óptica. Los nuevos sistemas DWDM son capaces de soportar velocidades de 40 Gbps (OC-768/STM-256) por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados. A raíz de esto se podrán transmitir 12 Tbps de ancho de banda sobre una misma fibra.

Para este diseño los equipos que se utilizarán son del orden 16 canales por fibra con una tasa de 10 Gbit por segundo. Obteniendo un total de 160 Gbits por fibra. El número total de fibras a ser instaladas corresponde a 15 hilos para mantener la consistencia de los fabricantes de fibra se instalaran 16 Hilos.

**TABLA 4.1**  
**DEMANDA ESPERADA**

<b>Cálculo de demanda al 2023</b>	
Demanda esperada para el 2023	352 Gbps
Tráfico del sistema DWDM Bidireccional	352 Gbps
Sistema de Protección 1*1 Bidireccional	704 Gbps
<b>Total Demanda para el 2023</b>	<b>1408 Gbps</b>

FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 4.2**  
**CALCULO # DE HILOS FIBRA ÓPTICA MOQUEGUA - DESAGUADERO**

<b>Cálculo # de Hilos de Fibra para demanda del 2023</b>					
<b>Regimen de Velocidad por <math>\lambda</math> en Gbps</b>	<b>Multiplexio n de <math>\lambda</math> por Fibra</b>	<b>Capacidad Hilo (Gbps)</b>	<b>Demanda</b>	<b># Total de Hilos para Cubrir Demanda</b>	<b>Capacidad Total Sistema (Gbps) Unidireccional</b>
10	16	160	352	3	480

FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 4.3**  
**DETALLE DE UTILIZACIÓN POR HILOS DE FIBRA ÓPTICA**

<b>Resumen</b>	<b># Hilos</b>
Demanda	3
Trafico Simetrico	3
Proteccion	6
Fibra oscura	3
Total Fibra Sistema	15

FUENTE ELABORACIÓN PROPIA

Para esta presente tesis solo se contempla una protección de tipo física para el tendido de la fibra al doblar la cantidad de la misma, pero no se contempla redundancia por otra ruta alterna. Como referencia tanto la red de fibra óptica de telefónica y la red proyectada de la red dorsal podrían ser utilizadas como redes de respaldo. Este análisis queda fuera del alcance del presente documento

#### 4.4 FACTORES DE DISEÑO PARA LA RED DWDM

##### 4.4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Se describen las características técnicas más relevantes y aspectos operativos de las fibras ópticas que se encuentran en el mercado. Ver tabla 4.4

TABLA 4.4

Parametros Caracteristicos del Tramo de Fibra	
Longitud del trayecto	243 km
Tipo de construcción	Aerea con tramos en linea electrica de alta tension y sobre postes de concreto de 9 metros
Hilos de fibra óptica	Cable primario de 16 hilos de fibra. De los cuales 8 cubren la demanda de 10 años
Tipo de Fibra	Single Mode UIT-T G52.C
Tecnología	Loose Buffer Tube
Chaqueta Externa	ADSS
Material Bloqueador de agua	Gel
Atenuación	1310 nm $\leq$ 0.35 dB/km
	1550nm $\leq$ 0.25 dB/km
	1625 nm $\leq$ 0.27 dB/km
Longitud de Onda de dispersión nula	1310 +- 10nm
Dispersión cromática	$\leq$ 5,5 ps/nm/km (1283-1330 nm)
	$\leq$ 18 ps/nm/Km (1525 - 1575 nm)
Longitud de onda de corte	$<$ 1260 nm
PMD (Polarization Mode Dispersion)	$<$ 0.5 ps/(km) <sup>1/2</sup>
Erro de concentricidad del campo modal	$<$ 1micras
No circularidad del revestimiento	$<$ 2%
Derechos de vía	Urbanos y Rurales
Fuente Elaboración Propia	

Para este diseño se tiene que considerar que la red de backbone debe permitir transportar eficientemente grandes capacidades, esto puede resolverse mediante la técnica conocida como DWDM.

La fibra óptica monomodo estándar (SSMF) está normalizada en la recomendaciones de la UIT G 652 que trabaja en la segunda y tercera ventana.

#### 4.4.2 FIBRA COMERCIALES ACTUALES

Como se describió en la sección anterior, se necesita tender fibra óptica de dos tramos para completar la Red de Backhaul.

A continuación procedemos a elegir la fibra que cumpla con las características que se requieren a partir de fibras comerciales conocidas. Ver Tabla 4.5

**TABLA 4.5**  
**LISTA DE PROVEEDORES LOCALES DE FIBRA ÓPTICA**

Proveedores de fibra óptica		
Fabricante	Fibra óptica	Características
Lucent Technologies	Allwave™	<p>Fibra monomodo totalmente compatibles con los estándares UIT-T G.652 y además exceden los requerimientos del estándar UIT-T G.652.D para fibra monomodo de bajo pico de agua.</p> <p>Elimina el pico de agua permitiendo usar el espectro completo, desde 1280nm hasta 1625nm.</p> <p>Ofrece bajas pérdidas, a los 1550nm el coeficiente de atenuación típica es de 0,19dB/Km.</p> <p>PMD máximo en la fibra: <math>0.1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}</math>.</p> <p>Error de concentricidad del campo modal-revestimiento: <math>\leq 0.2 \mu\text{m}</math> típico.</p> <p>Diámetro del campo modal en la ventana de 1550nm: <math>10.4 \pm 0.5 \mu\text{m}</math>.</p>
Coming	SMF-28e	<p>Creada con una baja atenuación en el pico de agua.</p> <p>La SMF-28e es una fibra ITU G.652.C y cumple con todas las normas de la industria correspondientes.</p> <p>Atenuación máxima <math>\leq 0.20 \text{ dB/Km}</math> en la ventana de 1550nm.</p> <p>Dispersión Cromática a los 1550nm <math>\leq 18 \text{ ps/nm.km}</math></p> <p>PMD máximo en la fibra: <math>0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}</math>.</p> <p>Error de concentricidad del campo modal-revestimiento: <math>\leq 0.3 \mu\text{m}</math>.</p> <p>Diámetro del campo modal en la ventana de 1550nm: <math>10.4 \pm 0.5 \mu\text{m}</math>.</p>
Furukawa	Fibra Monomodo Pico de Agua Cero (ITU-T G.652.C/D)	<p>Atenuación Óptica Típica en 1550nm: 0.19dBm/Km.</p> <p>Atenuación Óptica Máxima en 1550nm: 0.21dBm/Km.</p> <p>Dispersión Cromática en 1550nm: <math>\leq 17 \text{ ps/nm.km}</math></p> <p>PMD máximo en la fibra: <math>0.1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}</math>.</p> <p>Error de concentricidad del campo modal-revestimiento: <math>\leq 0.5 \mu\text{m}</math>.</p> <p>Diámetro del campo modal en la ventana de 1550nm: <math>10.3 \pm 0.5 \mu\text{m}</math>.</p>

CONTINUACIÓN TABLA 4.5

Proveedores de fibra óptica		
Fabricante	Fibra óptica	Características
Lucent	TrueWave (ITU-T G.655)	Atenuación Óptica Típica en 1550nm: 0.20dBm/Km. Atenuación Óptica Máxima en 1550nm: 0.22dBm/Km. Dispersión Cromática en la Banda C (1530-1565nm): 4 a 8.9 ps/nm.km. PMD máximo en la fibra: $0.1\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ . Error de concentricidad del campo modal-revestimiento: $\leq 0.5 \mu\text{m}$ . Diámetro del campo modal en la ventana de 1550nm: $8.4 \pm 0.6 \mu\text{m}$ .
Alcatel	TeraLightTM	Cumple con la recomendación UIT-T G.655 (NZDSF). Fibra óptica para trabajar con sistemas DWDM. Atenuación Óptica Típica en 1550nm: 0.22dBm/Km. Dispersión cromática (1530 – 1565nm): 5.5 a 10 ps/nm.Km Opera a 10 y 40 Gbps. Soporta la transmisión de 10 Gbps sin compensadores de dispersión para distancias alrededor de los 200 Km. Es compatible con la banda S. Diámetro del campo modal en la ventana de 1550nm: $9.2 \pm 0.5 \mu\text{m}$ .

FUENTE: EN BASE A DOCUMENTOS DE FABRICANTES LOCALES, ELABORACIÓN PROPIA.

A partir de esta lista de fibras elegiremos la Fibra de Lucent (TrueWave ITU-T G.655) dado que cuentas con características idóneas para trabajar con los sistemas DWDM.

#### 4.4.3 EQUIPOS DWDM COMERCIALES

En la siguiente tabla se presentan algunos de los proveedores comerciales más conocidos, que trabajan con sistemas DWDM de larga distancia. Ver tabla 4.6.

De los proveedores de la tabla, seleccionaremos a Ericsson con su equipo Marconi MHL 3000 porque se adapta perfectamente a con la fibra G.655.

#### 4.4.4 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE POTENCIA

El estudio el balance de potencia se parece en esencia a otro sistema convencional de comunicaciones, realizado a través de cualquier otro medio.

El primer punto de partida son los elementos básicos en los que se puede perder parte de la energía transmitida, estos son: La fibra óptica, los conectores y los empalmes que se hayan realizado a lo largo del trayecto.

**TABLA 4.6**  
**DETALLE DE LISTA DE EQUIPOS DWDM LOCALES.**

Proveedores de Equipos DWDM		
Fabricante	Equipos	Características
Ciena	CoreStream	Capacidad: 3,2 Tbps en Banda C para aplicaciones ULH. Formato: 2.5Gbps, 10Gbps SONET/SDH/OTN y 40Gbps SONET/SDH/OTN. Multiplexación: 4x2.5Gbps SONET/SDH, 4x10Gbps SONET/SDH/OTN. BER<10 <sup>-15</sup>
Alcatel - Lucent	1625 LambdaXtreme Transport	Capacidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.28 Tbps (128λs x 10Gbps) hasta 4000 Km</li> <li>• 2.56Tbps (64λs x 40Gbps) hasta 1000 Km</li> </ul> Banda L extendida (1553 a 1608nm) Interfaz cliente: STM-16, STM-64, STM-256 BER<10 <sup>-16</sup> Fibra compatible: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ITU-T G.655: FITEL TrueWave® (all vintages), Corning LEAF™</li> <li>• ITU-T G.652 (SSMF)</li> </ul>
Nortel Networks	Optera Long Haul 1600	Capacidad: 0.80 Tbps Soporta servicios de hasta: 80λs x 10Gbps; 320λs x 2.5Gbps; 640λs x 1.25Gbps. BER<10 <sup>-15</sup>
Ericsson	Marconi MHL 3000 Core	Capacidad: 6.40 Tbps (80 λs x 40 Gbps) Operación en Banda C Tipo de fibras: G.652, G.653, G.654 y G.655 BER<10 <sup>-15</sup> Servicios SDH/SONET/CBR: STM1/OC-3/CBR-155Mbps; STM-4/OC-12/CBR-622Mbp; STM-16/OC-48/CBR-2.5Gbps;STM-64/OC-192/CBR-10Gbps;STM-256/OC-768/CBR-40Gbps; Ethernet, Gigabit Ethernet, etc.

FUENTE: EN BASE A DOCUMENTOS DE FABRICANTES LOCALES

Considerando todo los anteriores factores, la expresión general que se necesita calcular es la siguiente forma:

$$P_{TX} = P_{RX} + \text{Pérdidas} + M_s \text{ (db)} \tag{4.1}$$

Donde  $P_{TX}$  es la potencia de salida del transmisor,  $P_{RX\text{limite}}$  la sensibilidad del receptor y  $M_s$  corresponde al margen de seguridad.

El Power Budget ( $\Delta P$ ) se suele calcular como la diferencia entre la potencia de salida del transmisor ( $P_{TX}$ ) y la sensibilidad del receptor ( $P_{RX\text{limite}}$ , que representa el máximo valor de pérdidas que puede tolerar el sistema para asegurar una recepción óptica de nivel potencia.

$$\Delta P = P_{TX} - P_{RX\text{limite}} \text{ (dB)} \tag{4.2}$$

Para calcular el Power Budget se necesita los parámetros de transmisión y sensibilidad del equipo, dados por el fabricante que se detallan en la siguiente tabla. 4.7

**TABLA 4.7**  
**DESCRIPCIÓN EQUIPO DWDM**

<b>Características Técnicas del Multihaul 3000</b>	
Parámetros	Rango permitidos
Potencia en recepción (sensibilidad)	-32 dBm
Potencia de transmisión	20.5 dBm
Fuente: Detalles del Fabricante	

A partir de ecuación 4.2 se puede determinar el Power Budget .

$$\Delta P = P_{TX} - P_{RX\text{limite}}$$

$$\Delta P = 20.5 \text{ dBm} - (-32 \text{ dBm})$$

**$\Delta P = 52.5 \text{ dB}$**

#### 4.4.5 PÉRDIDAS

Las pérdidas se producen cuando la señal viaja a través de la red, la señal sufre atenuaciones antes de llegar al receptor inmediato, lo que indica pérdida de potencia. Para el cálculo de las pérdidas totales ( $P_T$ ), incluye las pérdidas en la fibra, las pérdidas de los conectores en los ODFs en este caso solo se tiene dos equipos ODFs las Pérdidas de los empalmes, además se considera márgenes de reserva debido a que los componentes empleados en cualquier sistema envejecen por lo tanto la señal se verá afectada.



#### PÉRDIDAS EN LA FIBRA

Su valor está dado en forma habitual por el producto de sus pérdidas, en dB/Km, por la longitud de la fibra empleada.

#### PÉRDIDAS EN CONECTORES

Las pérdidas en los conectores, se calcula de manera convencional, multiplicando el número de los conectores empleados, por las pérdidas de cada uno ellos.

Para obtener la pérdida por conector en el ODF se acude a las características típicas del conector SC especificadas en la tabla 4.8 y se toma un valor promedio de **0.21 dB**.

Para calcular el número de conectores se considera que la línea de fibra solo contara con dos equipos ODFs dado que como no existe tráfico de agregación. Estos equipos solo están en cada extremo del sistema DWDM, los cuales deben interconectarse con un patch cord de fibra para continuar con el trayecto.

TABLA 4.8

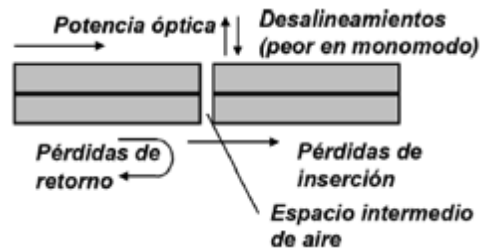
<b>Características de los conectores SC</b>	
Tipo de conector	SC
Tipo de fibra	Fibra Monomodo
Longitud de onda	1310 nm o 1550 nm
Pérdidas por inserción	valor típico 0.2 dB Valor máximo <- 0.5 dB
Pérdidas de retorno	Valor típico 65 dB Valor mínimo > 60 dB
Fuente: Detalles del Fabricante	

#### PÉRDIDAS EN LOS EMPALMES

Algo parecido a lo visto en el caso anterior, para obtener el valor de las pérdidas por empalmes se multiplica el número de empalmes por las pérdidas en cada uno de ellos.

En el trayecto Moquegua – Desaguadero, es evidente que a lo largo de 245 km se han realizado varios empalmes para unir tramos de fibra (típicamente cada 4 km dado que normalmente esa es la extensión de los carretes de fibra).

En la siguiente figura se muestra las diferentes pérdidas provocadas por lo empalmes. Para los empalmes de fibra óptica las pérdidas de inserción máximas no deben superar los 0,3 dB de acuerdo a las especificaciones ANSI/EIA/TIA-455 y una pérdida por retorno mínima de 26 dB para fibras monomodo. Ver Figura 4.5.



**FIGURA 4.5**  
**TIPO DE PÉRDIDAS EN EMPALMES DE FIBRA**  
FUENTE: ITU [30]

En las fibras monomodo los empalmes mediante la técnica de fusión se obtienen pérdidas de inserción típicas de 0.15 dB y máximas de 0.3 dB. Para el cálculo de las pérdidas se tomó el peor escenario que corresponde a los 0.3 dB por empalme [15].

En la siguiente tabla se resume todo lo calculado hasta ahora. Ver tabla 4.9.

**TABLA 4.9**

<b>Parámetros de atenuación de la fibra por el trayecto</b>	
Atenuación intrínseca de la fibra óptica a 1550 nm	0.25 dB/Km
Longitud del trayecto (Moquegua - Desaguadero)	245 Km
Pérdida por empalme	0.2 dB
Número de empalmes	75
Pérdida por conectores	0.3 dB
Número de conectores	8
Margen de reserva del equipo	3 dB
Margen de reserva de la fibra	2 dB
Fuente : Elaboración Propia	

Para calcular el número de empalmes se considera que los carretes de fibra óptica típicamente son de 4 km, por lo tanto el resultado de dividir la distancia total del trayecto entre 4 corresponde a 61.25 empalmes, por seguridad incorporaremos un 20 % de seguridad a este resultado y lo redondearemos a su entero superior. Como resultado tenemos que necesitamos 74 empalmes.

Para iniciar con el análisis de pérdidas (o presupuesto de pérdidas), se consideran los parámetros especificados en la tabla 4.5. Como resultado obtenemos la siguiente tabla. Ver tabla 4.10.

TABLA 4.10

<b>Pérdida del enlace</b>		<b>Unidades</b>
Pérdidas de atenuación	61.25	dB
Pérdidas por empalmes	15	dB
Pérdidas por conectores	2.4	dB
Margen de reserva equipo	3	dB
Margen de reserva de la fibra	2	dB
<b>Pérdidas para el enlace</b>	<b>83.65</b>	dB
Fuente: Elaboración propia		

En la sección 4.4.4 se determinó que el sistema tolera máximo de 52.5 dB de pérdidas. Sin embargo las pérdidas totales del enlace alcanzan un valor de 83.65 dB. Esto significa que debido a las grandes pérdidas es necesario colocar un amplificador de línea en el trayecto (preferiblemente en la mitad). De este modo compensamos estas pérdidas.

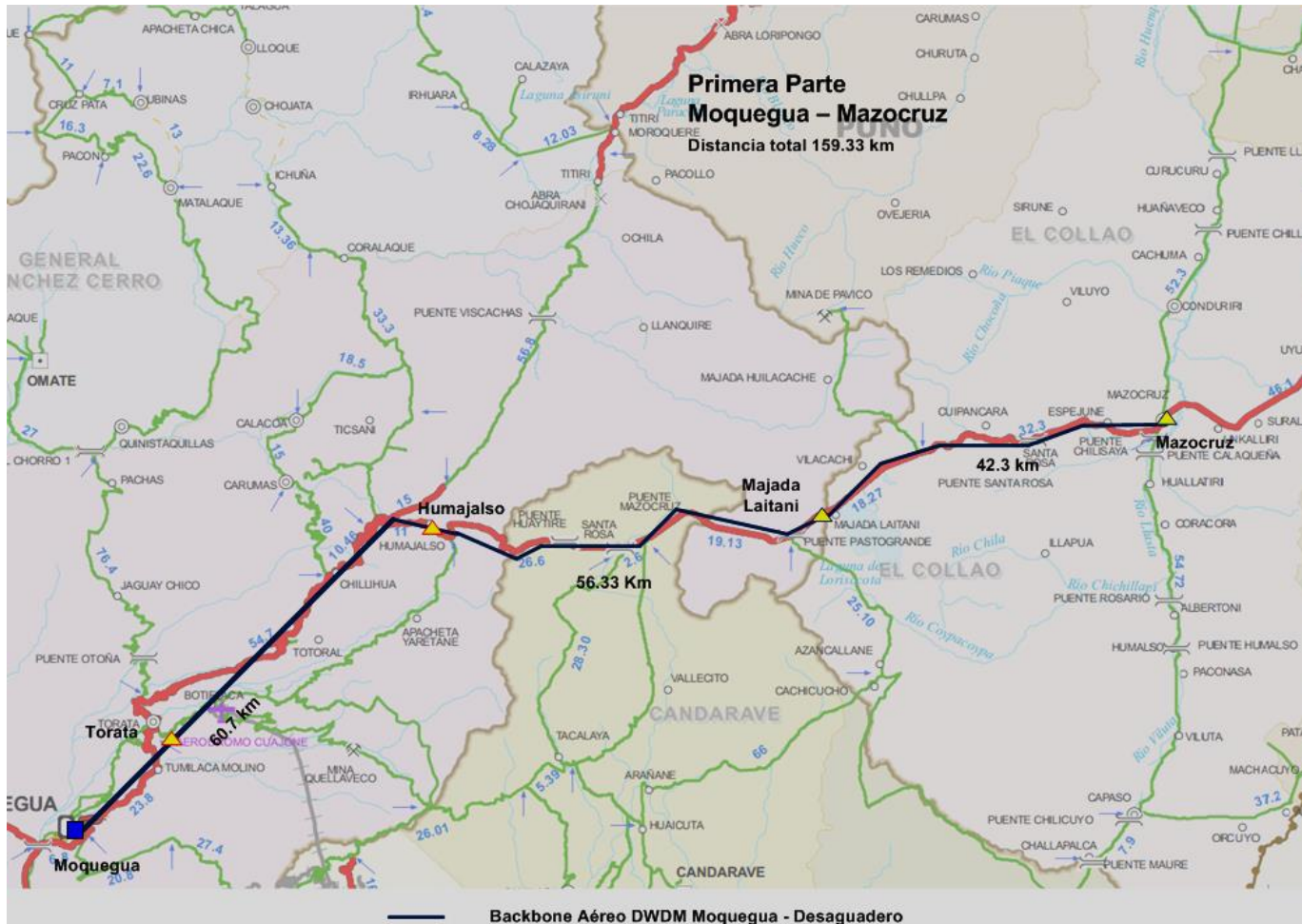
De acuerdo a las figuras 4.5 y 4.6 estimamos que el pueblo más cerca al medio del tramo de fibra es Mazocruz a 160 km desde Moquegua quedando un tramo restante de 86 km hacia Desaguadero.

Por lo tanto, una vez dividido el trayecto en dos tramos, en los cuales se aplicara el mismo criterio de cálculo de pérdidas utilizado en el trayecto general. Para el tramo Oeste (Moquegua – Majada Laitani) con una distancia de 162 km. Y para el tramo Este (Majada Laitani – Desaguadero) con una distancia de 83 Km.

Obteniendo como resultado las siguientes tablas. Ver tablas 4.11 y 4.12.

TABLA 4.11

<b>Pérdidas del Enlace (Moquegua-Majada Laitani)</b>		<b>Unidades</b>
Pérdidas de atenuación	29.5	dB
Pérdidas por empalmes	7.2	dB
Pérdidas por conectores	2.4	dB
Margen de reserva equipo	3	dB
Margen de reserva de la fibra	2	dB
<b>Pérdidas para el enlace</b>	<b>44.1</b>	dB
Fuente: Elaboración propia		



**FIGURA 4.6**  
**MAPA PARCIAL DE LA RUTA DE FIBRA**  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

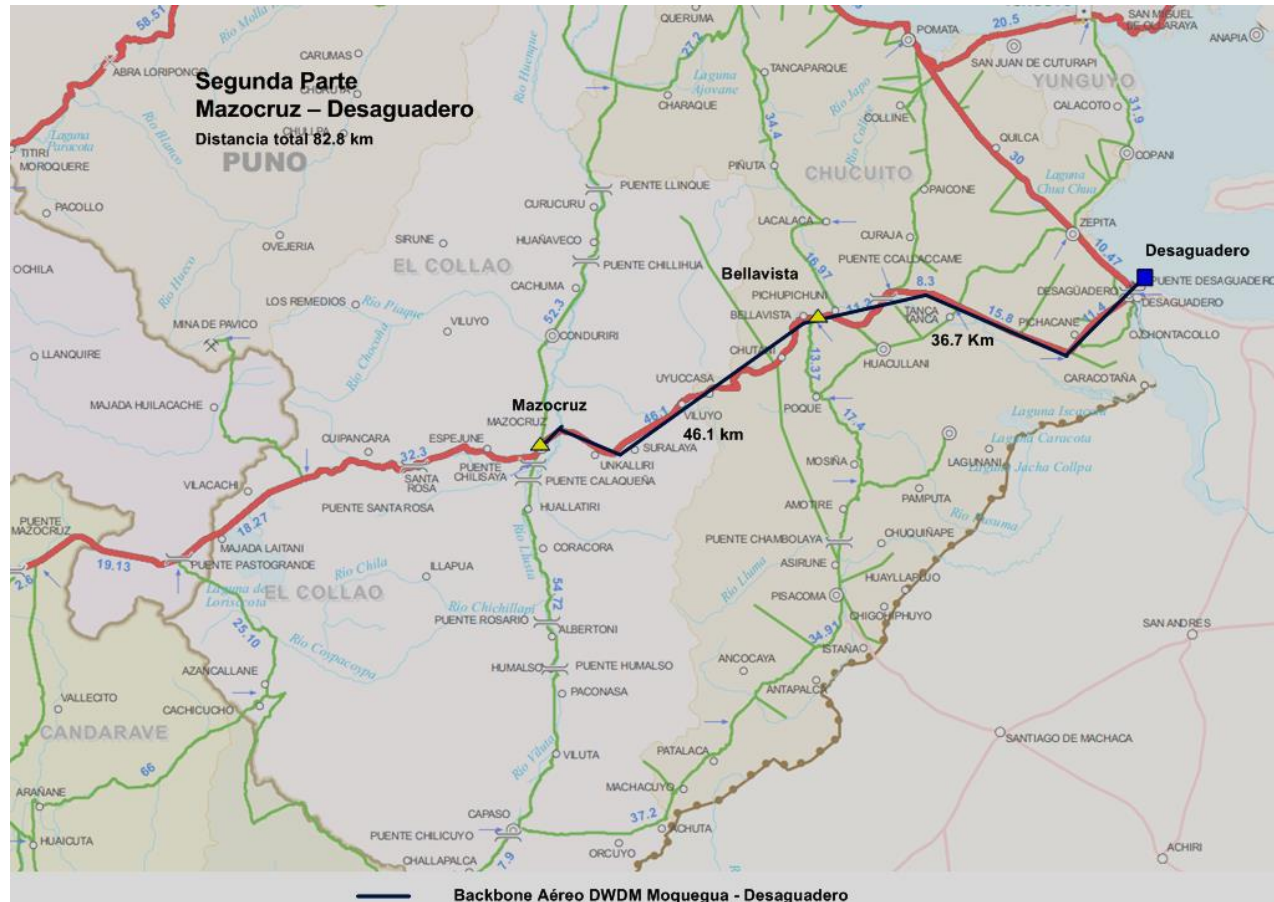


FIGURA 4.7

SEGUNDO TRAMO CORRESPONDIENTE A MAZOCRUZ – DESAGUADERO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.12

<b>Pérdida del Enlace (Majada Laitani-Desaguadero)</b>		<b>Unidades</b>
Pérdidas de atenuación	31.75	dB
Pérdidas por empalmes	7.8	dB
Pérdidas por conectores	2.4	dB
Margen de reserva equipo	3	dB
Margen de reserva de la fibra	2	dB
<b>Pérdidas para el enlace</b>	<b>46.95</b>	<b>dB</b>
Fuente: Elaboración propia		

En las últimas tablas se puede observar que el cálculo de enlace es correcto y los equipos pueden ser instalados.

#### 4.5 PERMISOS

De acuerdo con Decreto Legislativo No 1014 (véase diario oficial El Peruano del 16 de mayo 2008), es necesario contar todos los permisos necesarios de las autoridades a nivel local, distrital, provincial, regional, nacional o de cualquier otra autoridad competente que se requieren para todas las fases de la construcción y ejecución del tirado de fibra[40]

##### 4.5.1 DERECHOS Y SERVIDUMBRES DE PASO

También es fundamental identificar todos los pasos necesarios para solicitar y obtener todos los derechos y servidumbres de paso y permisos de uso necesarios por parte de los propietarios de tierras privadas y de las autoridades locales, distritales, provinciales, regionales, nacionales o de o de cualquier otra autoridad competente que se requieren para la construcción y ejecución de este tramo de red. [40]

##### 4.5.2 NORMAS, CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN Y CUMPLIMIENTO

La instalación de todos los sistemas, equipos y planta exterior debe realizarse de conformidad con las mejores prácticas de la industria.

Es necesario cumplir con todos los códigos de construcción locales, distritales, provinciales, regionales y nacionales.

Además deberá cumplir con todas las normas de seguridad aplicables y con las mejores prácticas de la industria para garantizar la seguridad e integridad de todos los bienes y personas asociados a la construcción de este tramo de fibra.

#### 4.5.3 IMPACTO AMBIENTAL

De acuerdo a la normativa y regulación peruana se tiene contemplado un estudio de impacto ambiental de acuerdo a las normas peruanas y la coordinación del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado Peruano. Ver tabla 5.8

#### 4.6 ESTÁNDARES DE SERVICIO

##### 4.6.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE SERVICIO (QUALITY OF SERVICE, QoS)

Dada la importancia de este tramo de red para Bolivia la disponibilidad de la Red de Core tiene que ser de noventa y nueve coma nueve por ciento (99,99%), medida en base mensual, sin contar el tiempo de inactividad programado y aprobado de antemano por el Supervisor del Contrato. La red se debe diseñar, operar y mantener la red de tal manera para asegurar que este nivel de disponibilidad sea lográble. De igual forma son críticos los Nodos de Agregación en los extremos de la línea de fibra que luego se conecta a sus Nodos de la Red de Core.

El promedio máximo de latencia de la red (dentro del Perú desde desaguadero) no debe ser mayor de treinta (30) mseg. La latencia se define como la cantidad de tiempo que tarda un paquete en transitar desde su origen hasta su destino y volver (es decir, latencia “de ida y vuelta”).

El promedio máximo de latencia de la red desde los IXP hasta los Estados Unidos no debe ser mayor de setenta (70) milisegundos [40]. El promedio mensual de pérdida de paquetes a través de toda la red (desde el Nodo IXP en Lurín hasta la frontera) no debe ser mayor de cero coma tres por ciento (0,3%).

##### 4.6.2 INTERRUPCIONES DE SERVICIO

Como parte de los gastos de operaciones en el proyecto se debe contemplar que cuando se produzcan interrupciones de los sistemas o equipos en la Red de Core y no pueden ser corregidos a distancia por el Centro de Operaciones de Red (NOC por sus siglas en inglés), se tiene que tener presupuestado que un equipo de reparación calificado llega al lugar de la interrupción con herramientas adecuadas y con las piezas de repuesto necesarias para corregir el tipo previsto de interrupción.

#### 4.7 ARQUITECTURA FÍSICA DE LA RED

##### 4.7.1 EMPRESAS ELÉCTRICAS Y SUS RUTAS

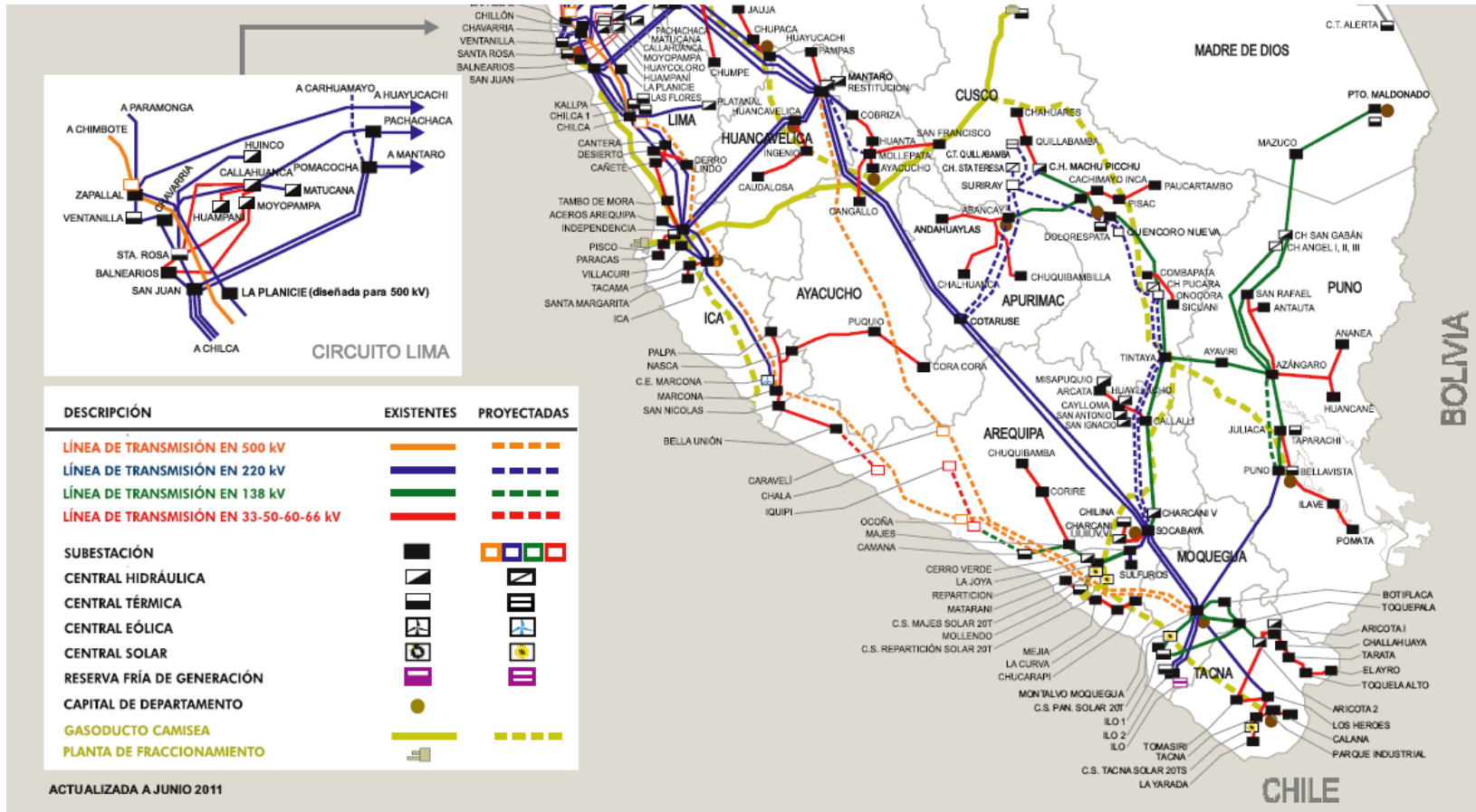
Parte de la ruta que se presenta en esta tesis atraviesa la ruta eléctrica de media y alta tensión. Ver figura 4.7 y 4.8.



FIGURA 4.8

**RED ELECTRICA EXISTENTE ENTRE MOQUEGUA Y PUNO**  
 ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS





**FIGURA 4.9**  
**RED ELECTRICA PERU ZONA SUR**  
FUENTE: MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

El tramo Moquegua–Humajalso se contempla utilizar fibras con protección ADSS la distancia de este tramo son 60.7 km.

El tramo final más extenso del proyecto (180 km) corresponde a los tramos Humajalso–Majada Laitani-Mazocruz, Bellavista-Desaguadero. Pero a diferencia del tramo por tendido eléctrico se levantarán postes de 12 metros de hormigón.

#### 4.7.2 RED VIAL / CONSTRUCCIÓN DE POSTES “DEDICADOS” (“PURPOSE-BUILT”)

En algunas zonas, las torres eléctricas de alta y media tensión tendrán que ser complementadas por postes de hormigón de doce (12) metros de altura.

### 4.8 INSTALACIÓN DE PLANTAS EXTERNAS

#### 4.8.1 NODOS

##### DISPOSICIONES GENERALES

Una vez aprobado el modelo económico que se discute en el capítulo 5. La compañía que se haga cargo del proyecto. Haciéndose responsable de la selección del emplazamiento, construcción y equipamiento de los nodos de equipos de red activos, y será responsable de todos los costos asociados.

El diseño de todas las ubicaciones que albergan equipos de red activos deberá cumplir con los criterios establecidos en el Manual R56 de Motorola: Standards and Guidelines for Communications Sites (Estándares y Directrices para Instalaciones de Comunicaciones).

Los Nodos de Red deberán ser diseñados para resistir terremotos que se producen en el Perú. Para los sitios con una magnitud de momento de 3,0 o superior (que incluye la mayoría de las localidades), se requerirá la contratación de un arquitecto calificado para determinar los requerimientos estructurales sísmicos locales. Todos los edificios y / o estructuras deberán incorporar un marco de puerta de acero y una puerta de acero por fines de seguridad e integridad sísmica. Hardware de soporte seísmo resistente específicamente diseñado debe utilizarse para refuerzos sísmicos. Bastidores de baterías y soportes sismo resistentes y prácticas de construcción seísmo resistentes deben ser empleados para las instalaciones en lugares sísmicamente activas. Los armarios de almacenamiento deben ser capaces de cerrarse firmemente y de ser sujetos firmemente a las paredes.[40]

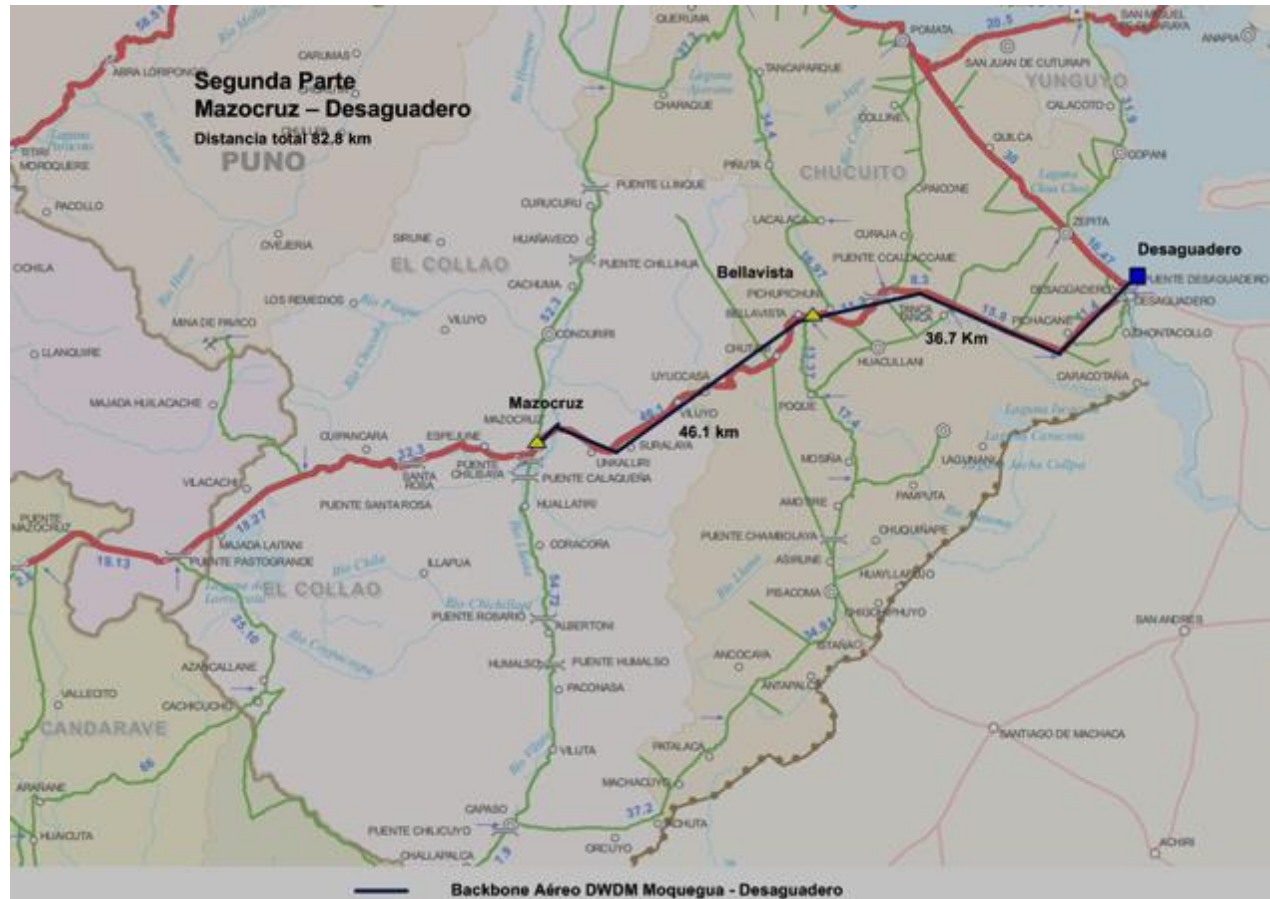
Con la excepción de los Nodos de Acceso y de Distribución independientes (“stand-alone”), todos los nodos de Red deberán de ser diseñados para mantener una temperatura en las facilidades entre 20°C y 24°C y la humedad relativa entre 45% y 55%.



FIGURA 4.10

DESPLIEGUE FÍSICO DE LA LÍNEA DE FIBRA ÓPTICA (PRIMER TRAMO).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**FIGURA 4.11**  
**DESPLIEGUE FÍSICO DE LA LÍNEA DE FIBRA ÓPTICA (SEGUNDO TRAMO)**  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## NODOS CORE

Los Nodos de la Red de Core deben ser de tamaño suficiente para soportar los equipos de la instalación inicial, más un mínimo de cien por ciento (100%) de crecimiento es lo recomendado por la ITU.

Hasta aquí llegamos con todas las consideraciones para el diseño del tramo de fibra propuesto. En el siguiente capítulo se describe la Evaluación Económica de la tesis.



## CAPÍTULO 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL PROYECTO

El objetivo general de este capítulo es describir el análisis económico a partir de la construcción de un tramo de fibra en territorio Peruano y analizar las implicaciones económicas para el servicio de internet en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Comenzaremos desarrollando el flujo de ingresos y egresos de la obra civil y el equipamiento necesario para desplegar la infraestructura necesaria para realizar el tendido de fibra, la construcción de la planta externa, interconexión entre operadores en los nodos tanto en Desaguadero como en Moquegua.

Continuando se presenta el flujo de caja variable, el análisis de sensibilidad. Resultando un valor actual neto positivo y una tasa interna de retorno superior a la tasa de descuento aplicada indicadores que hacen viable el proyecto.

Finalmente se describí las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

Vale mencionar que para realización de la valoración respectiva desarrollada en los siguientes puntos en este capítulo. Se utilizaron datos provistos por operadores privados en Bolivia y además de datos provistos por FITEL, que fueron utilizados en la licitación pública para la Red Dorsal de Banda Ancha adjudicada en diciembre del año pasado (2013). Finalmente es pertinente mencionar que los valores descritos más adelante están expresados en dólares americanos.

### 5.1 CAPEX Y OPEX

#### 5.1.1 Elementos involucrados en la construcción del tramo de fibra óptica.

A partir del capítulo anterior se determina que los elementos necesarios para el tramo de fibra óptica entre Moquegua y Desaguadero, son los siguientes:.

- Administración de Equipo Activos
- Instalación de la Fibra Óptica
- Construcción y/o alquiler de Nodos y Espacios
- Compra y Licenciamiento de los Sistemas de Información
- Interconexión entre proveedores tanto en Moquegua como en Desaguadero
- Otros Gastos

Respecto a la Administración de los Equipos Activos se determinó el siguiente presupuesto en base a datos provistos por FITEL y proveedores privados. Ver tabla 5.1

**TABLA 5.1**  
**EQUIPAMIENTO ACTIVO**

**Costo de Equipamiento Activo**

Capa de Red	Costo de Hardware	Impuestos	Transporte	Instalación	TOTAL
		18%	4%	20%	
Core y Pearing	1,375,000.00	247,500.00	55,000.00	275,000.00	1,952,500.00
Red Optica Provincial	1,312,500.00	236,250.00	52,500.00	262,500.00	1,863,750.00
Configuración y Administración de la RED	137,500.00	24,750.00	5,500.00	27,500.00	195,250.00
Acceso a los Nodos de Switch	37,500.00	6,750.00	1,500.00	7,500.00	53,250.00
<b>Costo Total Equipamiento Activo</b>	<b>2,862,500.00</b>	<b>515,250.00</b>	<b>114,500.00</b>	<b>572,500.00</b>	<b>4,064,750.00</b>

Fuente: FITEL en Base a Propuesta de Técnica para la Red Dorsal, Elaboración Propia.

En la tabla anterior se puede apreciar la estimación de los costos que representan los equipos activos, también se separa los pagos impositivos, de transporte e instalación de los mismos.

Continuando con la preparación de análisis financiero, el siguiente elemento que se debe considerar son los costos recurrentes de los equipos activos. Ver tabla 5.2. En esta tabla se pueden observar porcentajes para cada uno de los ítems, estos corresponden los porcentajes propuestos para la red dorsal.

**TABLA 5.2**  
**COSTOS RECURRENTE**

**Costos Recurrentes por año para Equipos Activos**

Capa de Red	Costo Recurrente Anual
Core y Pearing (3.5%)	107,778.00
Red Optica Provincial (6%)	111,825.00
Configuración y Administración de la RED (19%)	37,097.50
<b>Costo Total Equipamiento Activo</b>	<b>256,700.50</b>

Fuente: FITEL en Base a Propuesta de Técnica para la Red Dorsal, Elaboración Propia.

Estos costos recurrente equivalen a: En el caso del Core y Pearing (Emparejamiento a nivel del Núcleo de la Red de Transporte) de un 3.5% del costo total de los equipos propuestos. Dado que la interconexión se realiza en provincias se recomienda contabilizar con un 6% del costo total para lo largo del proyecto (10 años). Y finalmente la configuración y administración de la red se estimó en un 19% de gastos recurrente. En base a los costos referenciales del proyecto de la red dorsal.

El tercer elemento presupuestado es el costo de instalación de Fibra Óptica. De igual manera en base a los datos del capítulo anterior y tomando en cuenta que existen dos

tramos diferenciados por el tipo de instalación, lo presupuestado se puede apreciar en la siguiente tabla 5.3.

**TABLA 5.3**  
**COSTOS DE INSTALACIÓN DE FIBRA ÓPTICA**

Costo de Instalación Fibra Óptica				
Tipo de Instalación	Distancia en km	Cantidad	Costo Unitario por Km en\$Us	Costo Total
Instalación en Líneas de Media Tensión	60.70		14,000.00	849,800.00
Postes de Concreto de 12 metros	182.00	4,550.00	250.00	1,137,500.00
<b>Costo Total - Instalación de la Fibra</b>	<b>242.70</b>			<b>1,987,300.00</b>

Fuente: FITEL en Base a Propuesta de Técnica de la Red Dorsal, Elaboración Propia.

En la anterior tabla se describen dos tramos de instalación, el primero corresponde a la instalación de la fibra óptica utilizando los postes eléctricos de media tensión que en la figura 4.9 se describió. Este tramo cubre solo 60 km desde Moquegua hasta Humajaiso, a partir de este punto la instalación de la fibra óptica es a través de postes de concreto que deberán ser instalados cada 40 metros a lo largo de la carretera que tiene como punto final el nodo de interconexión que será construido en desaguadero dentro o cerca de las premisas de interconexión de Telefónica del Perú.

A continuación se describe el costo correspondiente a la construcción de la planta externa, cuyo instalación se deberá llevar a cabo tanto en Moquegua como Desaguadero y además de en Mazocruz donde se instalarán los amplificadores que permitirán asegurar la calidad del servicio que se requiere para alcanzar la velocidades demandas a lo largo del proyecto (10 años). Ver Tabla 5.4

**TABLA 5.4**  
**PLANTA EXTERNA**

Costo de Construcción Planta Externa			
Ubicación	Cantidad	Costo Unitario	Total
Nodos de Amplificador	1	32,300.00	32,300.00
Nodos de Acceso	2	20,500.00	41,000.00
Capitales de Provincia	2	39,300.00	78,600.00
Data center Provincia	1	18,600.00	18,600.00
Oficinas Departamentales (Moquegua - Desaguadero)	2	30,000.00	60,000.00
<b>Total</b>			<b>230,500.00</b>

Fuente: FITEL en Base a Propuesta de Técnica para la Red Dorsal, Elaboración Propia.

El detalle de los elementos mencionados en la tabla 5.4 se detallan a continuación. ver tabla 5.5



**TABLA 5.5**  
**DETALLE DE ELEMENTOS EN LA PLANTA EXTERNA**

<b>Elemento</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Node de Amplificador</b>				
Rack o Gabinete Cabinet	Unidad	1	\$ 5,000	\$ 5,000
Patch cables, bandejas, etc.		1	\$ 2,000	\$ 2,000
Video Vigilancia		1	\$ 1,400	\$ 1,400
Sistema de Seguridad		1	\$ 2,000	\$ 2,000
UPS		1	\$ 1,900	\$ 1,900
Aire acondicionado		1	\$ 3,000	\$ 3,000
Generador		1	\$ 5,000	\$ 5,000
Espacio	metros cuadrados	60	\$ 200	\$ 12,000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 32,300</b>
<b>Nodos en Capital (Moquegua-Desaguadero)</b>				
Racks y subracks	cada	1	\$ 5,000	\$ 5,000
Patch cables, bandejas, etc.	cada	1	\$ 2,000	\$ 2,000
Video Vigilancia		1	\$ 1,400	\$ 1,400
Sistema de seguridad		1	\$ 2,000	\$ 2,000
UPS	cada	1	\$ 1,900	\$ 1,900
Aire Acondicionado	cada	1	\$ 2,000	\$ 2,000
Generador	cada	1	\$ 5,000	\$ 5,000
Espacio	metros cuadrados	100	\$ 200	\$ 20,000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 39,300</b>
<b>Nodos de Acceso</b>				
Gabinetes	cada	1	\$ 3,500	\$ 3,500
Patch cables, bandejas, etc.	cada	1	\$ 1,000	\$ 1,000
Video Vigilancia	cada	1	\$ 1,400	\$ 1,400
Sistema de Seguridad		1	\$ 2,000	\$ 2,000
UPS	cada	1	\$ 600	\$ 600
Espacio	metros cuadrados	60	\$ 200	\$ 12,000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 20,500</b>
<b>Data Center Provincia</b>				
Espacio de 15 racks (incluyendo espacio para A/C, Energía y Baterías)	cada	4	\$ 400	\$ 1,600
Racks y subracks	cada	2	\$ 5,000	\$ 10,000
Patch cables, bandejas, etc.		1	\$ 7,000	\$ 7,000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 18,600</b>
<b>Espacio Administrativo</b>				
Node Locations	metros cuadrados	200	\$ 150	\$ 30,000

Fuente : En base a documentos de proveedores locales y datos de proyecto de red dorsal del FITEI  
Elaboración: Propia

Por otro lado cada nodo de interconexión requiere conectarse a los sistemas de control de la red. En la siguiente tabla se incorporan los precios de los sistemas que se deben configurar. Ver tabla 5.6, además de los sistemas descritos es necesario contar con el software de administración, estos se describen en la tabla 5.7. Adicionalmente el costo de interconexión que enlace desde Lurín hasta Miami de determino en función al presupuesto presentado por el operador local. Los resultados de este cálculo se pueden apreciar en los escenarios más adelante en este capítulo.

**TABLA 5.6**  
**COSTO DE INTERCONEXIÓN**

**Costos de Interconexión**

Tipo	Cantidad	Costo Unitario	Total
Interface SS7	2	4,500.00	9,000.00
Voz	2	58,000.00	116,000.00
VPN	2	50,000.00	100,000.00
IPS/IDS	2	25,000.00	50,000.00
<b>Total</b>			<b>275,000.00</b>

Fuente: FITEL en Base a Propuesta de Técnica para la Red Dorsal, Elaboración Propia.

**TABLA 5.7**  
**LICENCIAS Y SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN**

**Costo de Sistema y Licenciamiento**

Tipo	Monto
Centro de Administración de la Red (Incluye renovación de espacio, seguridad, computadora, impresoras, etc)	36,000.00
BSS/OSS Sistemas para control de hardware (CRM, Facturación, Servicio Técnico y Contabilidad)	200,000.00
<b>Total Costos de Sistema y Licenciamiento</b>	<b>236,000.00</b>

Fuente: FITEL en Base a Propuesta de Técnica para la Red Dorsal, Elaboración Propia.

Finalmente están los gastos correspondientes a permisos, administración del proyecto, seguros, supervisión y además los estudios medioambientales. Ver tabla 5.8

**TABLA 5.8**  
**OTROS GASTOS**

**Otros Gastos**

Otros Elementos a Considerar	Monto
Permisos (1%)	84,589.79
Administración del Proyecto	39,650.78
Supervisión del Proyecto (0.5%)	42,273.16
Estudios Medio Ambientales (1%)	84,387.29
<b>Total</b>	<b>250,901.02</b>

Fuente: FITEL en Base a Propuesta de Técnica para la Red Dorsal, Elaboración Propia.

## 5.2 FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS PARA EL PROYECTO DE TRAMO DE FIBRA ÓPTICA ENTRE MOQUEGUA Y DESAGUADERO

En adelante se desarrolla el flujo de caja variable en función a los ingresos esperados para el proyecto, los costos de operación, el financiamiento y el flujo impositivo.

### 5.2.1 INGRESOS

Para determinar el flujo de ingresos a lo largo del proyecto (10 años). Se consideró la población objetivo en base a datos provistos por INEI de Bolivia ver tabla 5.9.

**TABLA 5.9.1**  
**POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA EN EL PERIODO (10 AÑOS)**

Población Activa de Bolivia entre los 15 - 70						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>BOLIVIA</b>	<b>6,881,179</b>	<b>7,051,277</b>	<b>7,226,065</b>	<b>7,388,568</b>	<b>7,555,274</b>	<b>7,726,303</b>
15-19	1,141,307	1,151,802	1,162,394	1,177,101	1,191,995	1,207,076
20-24	1,045,361	1,071,900	1,099,113	1,109,449	1,119,883	1,130,415
25-29	911,346	934,757	958,770	983,329	1,008,516	1,034,349
30-34	794,642	813,942	833,710	855,336	877,523	900,285
35-39	697,745	712,398	727,359	745,247	763,575	782,354
40-44	596,438	618,579	641,542	655,263	669,278	683,592
45-49	486,721	502,749	519,305	538,849	559,129	580,172
50-54	402,740	413,518	424,584	438,846	453,587	468,823
55-59	332,255	342,631	353,330	363,069	373,077	383,361
60-64	267,189	275,260	283,574	292,692	302,104	311,818
65-69	205,434	213,741	222,384	229,386	236,608	244,058
<b>Totales</b>	<b>6,881,178.50</b>	<b>7,051,276.76</b>	<b>7,226,065.00</b>	<b>7,388,568.02</b>	<b>7,555,274.49</b>	<b>7,726,302.95</b>

**TABLA 5.9.2**  
**POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA EN EL PERIODO (10 AÑOS)**

Población Activa de Bolivia entre los 15 - 70					
	2019	2020	2021	2022	2023
<b>BOLIVIA</b>	<b>7,901,776</b>	<b>8,081,818</b>	<b>8,240,916</b>	<b>8,404,026</b>	<b>8,571,263</b>
15-19	1,222,349	1,237,815	1,243,179	1,248,566	1,253,977
20-24	1,141,045	1,151,776	1,166,561	1,181,537	1,196,704
25-29	1,060,844	1,088,017	1,098,462	1,109,008	1,119,654
30-34	923,638	947,596	972,077	997,190	1,022,952
35-39	801,594	821,308	842,834	864,924	887,592
40-44	698,213	713,146	730,927	749,152	767,831
45-49	602,007	624,664	638,299	652,231	666,467
50-54	484,570	500,847	519,987	539,858	560,489
55-59	393,928	404,786	418,669	433,028	447,879
60-64	321,845	332,194	341,621	351,315	361,284
65-69	251,743	259,669	268,300	277,219	286,433
<b>Totales</b>	<b>7,901,775.54</b>	<b>8,081,818.00</b>	<b>8,240,915.64</b>	<b>8,404,026.15</b>	<b>8,571,263.12</b>

Fuente: INEI, Elaboración Propia

Para ello se determinó la población por año aplicando la tasa de crecimiento anual compuesto (TCAC) [54].

A partir de datos provistos por la ATT ver figura 2.4 que preparó una tabla comparativa del costo de un Mbps en la región. Se procedió a desarrollar la siguiente tabla 5.10.

**TABLA 5.10**  
**COSTO DE INTERNET EN LA REGIÓN**

<b>Costo de Internet de 1 mbps en Dólares</b>			
<b>País</b>	<b>Salario Mínimo en \$us</b>	<b>Costo de Internet</b>	<b>Representación Porcentual</b>
Bolivia	174.00	30.00	17.24%
Perú	267.00	17.57	6.58%
Chile	382.00	2.57	0.67%
Argentina	422.00	5.90	1.40%
Uruguay	397.00	0.99	0.25%
Paraguay	411.00	20.31	4.94%

Fuente: ATT, Elaboración: Propia

Como se puede apreciar en la anterior tabla la relación de costos entre Bolivia y Perú de 1 Mbps de internet representa un 40 % menos de este valor.

De este modo si consideramos reducir el costo de 1 Mbps de internet en Bolivia en un 40 %, esto implicaría una reducción de este gasto en también un 40 % respecto al Salario Mínimo (10.10%). Ver siguiente tabla 5.11.

**TABLA 5.11**  
**NUEVO COSTO DE INTERNET**

<b>Nuevo Costo de Internet de 1 mbps en Dólares</b>			
<b>País</b>	<b>Salario Mínimo en \$us</b>	<b>Costo de Internet</b>	<b>Representación Porcentual</b>
Bolivia	174.00	17.57	10.10%

Elaboración: Propia

Además también tomando en cuenta datos extraídos de la CEPAL y el Banco mundial la penetración de banda ancha en Bolivia representa solo el 34% de la población activa (2,339,600.69 hab. para el 2013). De los cuales, siguiendo el criterio de dividir la capacidad de salida internacional de internet a 1/3 por el Ramal Peruano. La población con acceso corresponde a 779,866.90 hab.

Con todo lo desarrollado hasta el momento en los anteriores párrafos se calculó la siguiente tabla que incluye los nuevos clientes que podrían incorporarse en la población con acceso de banda ancha para los próximos 10 años. Ver siguiente tabla 5.12.1, 5.12.2.

**TABLA 5.12.1**  
**INGRESOS POR NUEVOS CLIENTES - RAMAL DEL PROYECTO (DESAGUADERO-MOQUEGUA)**

	Número de Clientes Nuevos para el Proyecto de Interconexión					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Población c/acceso Internet actual 34%</b>						
<b>Cientes Actual para Ramal Perú</b>	2,339,600.69	2,397,434.10	2,456,862.10	2,512,113.13	2,568,793.33	2,626,943.00
<b>Nuevos clientes</b>	779,866.90	799,144.70	818,954.03	837,371.04	856,264.44	875,647.67
<b>Nuevos Clientes para Ramal Perú</b>	1,091,813.66	1,118,802.58	1,146,535.65	1,172,319.46	1,198,770.22	1,225,906.74
<b>Ingresos por Nuevos Clientes en Dólares</b>	311,946.76	319,657.88	327,581.61	334,948.42	342,505.78	350,259.07
	5,615,041.66	5,753,841.84	5,896,469.04	6,029,071.51	6,165,103.98	6,304,663.21

Elaboración: Propia

**TABLA 5.12.2**  
**INGRESOS POR NUEVOS CLIENTES - RAMAL DEL PROYECTO (DESAGUADERO-MOQUEGUA)**

	Número de Clientes Nuevos para el Proyecto de Interconexión					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>Población c/acceso Internet actual 34%</b>						
<b>Cientes Actual para Ramal Perú</b>	2,686,603.68	2,747,818.12	2,801,911.32	2,857,368.89	2,914,229.46	2,972,532.81
<b>Nuevos clientes</b>	895,534.56	915,939.37	933,970.44	952,456.30	971,409.82	990,844.27
<b>Nuevos Clientes para Ramal Perú</b>	1,253,748.39	1,282,315.12	1,307,558.62	1,333,438.82	1,359,973.75	1,387,181.98
<b>Ingresos por Nuevos Clientes en Dólares</b>	358,213.82	366,375.75	373,588.18	380,982.52	388,563.93	396,337.71
	6,447,848.84	6,594,763.49	6,724,587.16	6,857,685.34	6,994,150.71	7,134,078.74

Elaboración: Propia

## 5.2.2 EGRESOS

### 5.2.2.1 AMORTIZACIÓN ANUAL DEL PRÉSTAMO PARA LA INVERSIÓN

Para esta sección se consideró que la tasa de préstamo corresponde al 16% anual amortizable en 10 años calculados bajo el método de amortización del sistema francés. Como resultado se obtuvo la siguiente tabla 5.13.

**TABLA 5.13**  
**AMORTIZACIÓN DEUDA**

**Servicio de Deuda por Préstamo para el Proyecto**

	Período	Cuota Anual	Interes Anual	Amortización Anual	Servicio de Deuda Acumulado	Saldo de la Deuda
<b>PERIODO DE AMORTIZACIÓN /</b>						7,044,451.02
	1	1,457,504.55	1,127,112.16	330,392.38	330,392.38	6,714,058.64
	2	1,457,504.55	1,074,249.38	383,255.16	713,647.55	6,330,803.47
	3	1,457,504.55	1,012,928.56	444,575.99	1,158,223.54	5,886,227.48
	4	1,457,504.55	941,796.40	515,708.15	1,673,931.68	5,370,519.34
	5	1,457,504.55	859,283.09	598,221.45	2,272,153.14	4,772,297.88
	6	1,457,504.55	763,567.66	693,936.88	2,966,090.02	4,078,361.00
	7	1,457,504.55	652,537.76	804,966.79	3,771,056.81	3,273,394.21
	8	1,457,504.55	523,743.07	933,761.47	4,704,818.28	2,339,632.74
	9	1,457,504.55	374,341.24	1,083,163.31	5,787,981.58	1,256,469.44
10	1,457,504.55	201,035.11	1,256,469.44	7,044,451.02	0.00	

Elaboración: Propia

5.2.2.2 FLUJO IMPOSITIVO

Para esta sección se tomó en cuenta la depreciación del 30 % anual de los activos depreciables, el total de ingresos y el ahorro tributario por el costo de mantenimiento. Ver tabla 5.14.1, 5.14.2.

**TABLA 5.14.1**  
**FLUJO IMPOSITIVO**

Flujo Impositivo sobre Depreciación de Activos, Ingresos y Costo de Mantenimiento

Concepto / Año	2013 0	2014 1	2015 2	2016 3	2017 4	2018 5
Ahorro tributario Depreciación de Equipos 30%	0	488,891	488,891	488,891	488,891	-
Costo tributario por Ingresos Anuales 30%	0	-1,726,153	-1,768,941	-1,808,721	-1,849,531	-1,891,399
Ahorro tributario Costos Anuales por Mantenimiento 30%	0	356,365	363,024	370,015	377,356	385,064
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>	<b>0</b>	<b>-880,896</b>	<b>-917,026</b>	<b>-949,815</b>	<b>-983,284</b>	<b>-1,506,335</b>

Elaboración: Propia

**TABLE 5.14.2**  
**FLUJO IMPOSITIVO**

Flujo Impositivo sobre Depreciación de Activos, Ingresos y Costo de Mantenimiento

Concepto / Año	2019 6	2020 7	2021 8	2022 9	2023 10
Ahorro tributario Depreciación de Equipos 30%	-	-	-	-	-
Costo tributario por Ingresos Anuales 30%	-1,934,355	-1,978,429	-2,017,376	-2,057,306	-2,098,245
Ahorro tributario Costos Anuales por Mantenimiento 30%	393,157	401,654	410,577	419,946	429,783
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>	<b>-1,541,198</b>	<b>-1,576,775</b>	<b>-1,606,799</b>	<b>-1,637,360</b>	<b>-1,668,462</b>

Elaboración: Propia

5.2.3 FLUJO DE CAJA VARIABLE

Finalmente a partir de los datos desarrollados en las páginas anteriores, estos son incorporados en el Flujo de Caja Variable, obteniéndose la siguiente tabla 5.15.

**TABLE 5.15.1**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE**

Concepto / Año		2013	2014	2015	2016	2017
		0	1	2	3	4
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada		5,753,841.84	5,896,469.04	6,029,071.51	6,165,103.98
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	0	5,753,842	5,896,469	6,029,072	6,165,104
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX	7,044,451				
	Costos de operación y mantenimiento		1,187,884	1,210,079	1,233,383	1,257,852
	Sueldos Personal		490,718	515,253	541,016	568,067
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	7,044,451	1,678,602	1,725,332	1,774,399	1,825,919
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		-7,044,451	4,075,240	4,171,137	4,254,672	4,339,185
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>			-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>			-880,896	-917,026	-949,815	-983,284
<b>FLUJO DE CAJA</b>		-7,044,451	1,736,839	1,796,606	1,847,353	1,898,396

<b>TASA DE DESCUENTO</b>	19.51%	
VAN	242,917.29	-1,590,317.69
TIR	20.53826754%	20.54%

Elaboración: Propia

**TABLE 5.15.2**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE**

Concepto / Año		2018	2019	2020	2021	2022	2023
		5	6	7	8	9	10
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada	6,304,663.21	6,447,848.84	6,594,763.49	6,724,587.16	6,857,685.34	6,994,150.71
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	6,304,663	6,447,849	6,594,763	6,724,587	6,857,685	6,994,151
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX						
	Costos de operación y mantenimiento	1,283,545	1,310,522	1,338,848	1,368,590	1,399,820	1,432,611
	Sueldos Personal	596,470	626,294	657,808	690,489	725,013	761,264
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	1,880,015	1,936,816	1,996,456	2,059,079	2,124,833	2,193,875
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		4,424,648	4,511,033	4,598,307	4,665,508	4,732,852	4,800,276
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>		-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>		-1,596,335	-1,541,198	-1,576,775	-1,606,799	-1,637,360	-1,668,462
<b>FLUJO DE CAJA</b>		1,460,808	1,512,331	1,564,028	1,601,205	1,637,988	1,674,309

Elaboración: Propia

El valor actual neto (VAN) obtenido para el presente proyecto corresponde a: 242,917.29 y la tasa interna de retorno (TIR) es de: 20.54% siendo mayor a la tasa de descuento utilizada 19.51% [Anexo CME 18]. Por lo tanto se comprueba la viabilidad de la inversión para el proyecto.

### 5.3 PRECIO SOCIAL

En muchos casos los precios privados no reflejan el verdadero valor de los bienes, haciendo poco viable un proyecto, es entonces donde el precio social cobra importancia. Este precio social es el precio que existiría si no hubiese distorsiones (impuestos, subsidios, monopolio, etc.)[58]. En este caso no es necesario la incorporación de los costos sociales para el cálculo en el análisis financiero ya que existe suficiente margen respecto a la tasa de descuento (19,51%).

### 5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este apartado variaremos los resultados obtenido en los párrafos anteriores para determinar el grado de sensibilidad del ejercicio financiero.

Para ello comenzaremos recordando que el valor utilizado para el cálculo de los ingresos corresponde al valor menos optimista, esto permite un gran margen para mejorar las utilidades del proyecto si fuera necesario. Tan solo incrementando el costo por megabit.

Considerando lo mencionado se realizaron cuatro escenarios para determinar la factibilidad del proyecto.

Escenario 1. Este corresponde al desarrollo que se presentó hasta el momento, donde los ingresos equivalen a 18 dólares por 1 Mbps. Lo que permite incrementar el número de clientes de forma significativa al ser más accesible este servicio respecto al salario mínimo de Bolivia.

Escenario 2. En este caso el costo por 1 Mbps de internet se redujo al promedio de la región ver tabla 5.16 equivalente a 13 \$us. De igual manera que en el anterior escenario, al ser un servicio más accesible el número de clientes se incrementa. Y aunque se vea mermado el ingreso, al contar con más clientes el resultado del ejercicio es mucho más optimista. Se pueden ver estos resultados en la tabla 5.17.

**TABLA 5.16**  
**COSTO PROMEDIO DE INTERNET DE LA REGION**

<b>Disminución del Costo de Internet de 1 mbps con relación al Precio Promedio de la Región</b>			
<b>País</b>	<b>Salario Mínimo en \$us de Bolivia</b>	<b>Costo de Internet</b>	
Bolivia	174.00	12.89	7.41%

Elaboración: Propia



**TABLA 5.17.1**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE ESCENARIO 2**

Flujo para Escenario 2

Concepto / Año		2013	2014	2015	2016	2017
		0	1	2	3	4
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada		5,921,662	6,068,449	6,204,919	6,344,920
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>0</b>	<b>5,921,662</b>	<b>6,068,449</b>	<b>6,204,919</b>	<b>6,344,920</b>
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX	7,044,451				
	Costos de operación y mantenimiento		1,187,884	1,210,079	1,233,383	1,257,852
	Sueldos Personal		490,718	515,253	541,016	568,067
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>7,044,451</b>	<b>1,678,602</b>	<b>1,725,332</b>	<b>1,774,399</b>	<b>1,825,919</b>
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		<b>-7,044,451</b>	<b>4,243,060</b>	<b>4,343,117</b>	<b>4,430,520</b>	<b>4,519,001</b>
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>			-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>			-931,242	-968,620	-1,002,570	-1,037,229
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>-7,044,451</b>	<b>1,854,314</b>	<b>1,916,993</b>	<b>1,970,446</b>	<b>2,024,267</b>

<b>TASA DE DESCUENTO</b>	19.51%
VAN	781,141.62
TIR	22.76469254%

-1,052,093.36  
22.76%

Elaboración: Propia

**TABLA 5.17.2**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE ESCENARIO 2**

Concepto / Año		2018	2019	2020	2021	2022	2023
		5	6	7	8	9	10
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada	6,488,549	6,635,911	6,787,111	6,920,721	7,057,701	7,198,147
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>6,488,549</b>	<b>6,635,911</b>	<b>6,787,111</b>	<b>6,920,721</b>	<b>7,057,701</b>	<b>7,198,147</b>
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX						
	Costos de operación y mantenimiento	1,283,545	1,310,522	1,338,848	1,368,590	1,399,820	1,432,611
	Sueldos Personal	596,470	626,294	657,608	690,489	725,013	761,264
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>1,880,015</b>	<b>1,936,816</b>	<b>1,996,456</b>	<b>2,059,079</b>	<b>2,124,833</b>	<b>2,193,875</b>
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		<b>4,608,534</b>	<b>4,699,095</b>	<b>4,790,654</b>	<b>4,861,642</b>	<b>4,932,868</b>	<b>5,004,272</b>
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>		-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>		-1,561,501	-1,597,617	-1,634,479	-1,665,639	-1,697,364	-1,729,661
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>1,589,528</b>	<b>1,643,974</b>	<b>1,698,671</b>	<b>1,738,498</b>	<b>1,777,999</b>	<b>1,817,107</b>

Elaboración: Propia

Escenario 3. Para este escenario la variable que se incorporo es el ingreso de competencia al septimo año del periodo pero se mantuvo el precio de internet del primero escenario los resultados aún son favorables pero se puede apreciar una disminución importante en la tasa interna de retorno respecto a los otros primeros escenarios. Se pueden ver estos cambios en las siguientes tablas 5.18.

**TABLA 5.18.1**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE ESCENARIO 3**

Flujo para Escenario 3

Concepto / Año		2013	2014	2015	2016	2017
		0	1	2	3	4
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada		5,753,842	5,896,469	6,029,072	6,165,104
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>0</b>	<b>5,753,842</b>	<b>5,896,469</b>	<b>6,029,072</b>	<b>6,165,104</b>
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX	7,044,451				
	Costos de operación y mantenimiento		1,187,884	1,210,079	1,233,383	1,257,852
	Sueldos Personal		490,718	515,253	541,016	568,067
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>7,044,451</b>	<b>1,678,602</b>	<b>1,725,332</b>	<b>1,774,399</b>	<b>1,825,919</b>
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		<b>-7,044,451</b>	<b>4,075,240</b>	<b>4,171,137</b>	<b>4,254,672</b>	<b>4,339,185</b>
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>			-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>			-880,896	-917,026	-949,815	-983,284
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>-7,044,451</b>	<b>1,736,839</b>	<b>1,796,606</b>	<b>1,847,353</b>	<b>1,898,396</b>

<b>TASA DE DESCUENTO</b>	19.51%	
VAN	(916,094.01)	-2,749,328.99
TIR	14.7%	14.7%

**TABLA 5.18.2**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE ESCENARIO 3**

Concepto / Año		2018	2019	2020	2021	2022	2023
		5	6	7	8	9	10
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada	6,304,663	5,158,279	5,275,811	5,379,670	5,486,148	5,595,321
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>6,304,663</b>	<b>5,158,279</b>	<b>5,275,811</b>	<b>5,379,670</b>	<b>5,486,148</b>	<b>5,595,321</b>
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX						
	Costos de operación y mantenimiento	1,283,545	1,310,522	1,338,848	1,368,590	1,399,820	1,432,611
	Sueldos Personal	596,470	626,294	657,608	690,489	725,013	761,264
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>1,880,015</b>	<b>1,936,816</b>	<b>1,996,456</b>	<b>2,059,079</b>	<b>2,124,833</b>	<b>2,193,875</b>
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		<b>4,424,648</b>	<b>3,221,463</b>	<b>3,279,354</b>	<b>3,320,591</b>	<b>3,361,315</b>	<b>3,401,446</b>
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>		-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>		-1,506,335	-1,154,327	-1,181,089	-1,203,324	-1,225,898	-1,248,813
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>1,460,808</b>	<b>609,632</b>	<b>640,761</b>	<b>659,762</b>	<b>677,912</b>	<b>695,128</b>

Elaboración: Propia

Escenario 4. Finalmente en este escenario las modificaciones fueron tanto al precio de internet que fue disminuido al promedio de la región y la incorporación de competencia en el 7 periodo del ejercicio. Los resultados de dichas variaciones se pueden apreciar en la siguiente tabla 5.19. En ella se pueden ver que el proyecto es aún rentable gracias a que al reducir el precio de internet se incorporan más clientes en los primeros años del proyecto. El ingreso de competencia no perjudica demasiado como sucedió en el anterior escenario.

**TABLA 5.19.1**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE ESCENARIO 4**

Flujo para Escenario 4

Concepto / Año		2013	2014	2015	2016	2017
		0	1	2	3	4
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada		5,921,662	6,068,449	6,204,919	6,344,920
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>0</b>	<b>5,921,662</b>	<b>6,068,449</b>	<b>6,204,919</b>	<b>6,344,920</b>
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX	7,044,451				
	Costos de operación y mantenimiento		1,187,884	1,210,079	1,233,383	1,257,852
	Sueldos Personal		490,718	515,253	541,016	568,067
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>7,044,451</b>	<b>1,678,602</b>	<b>1,725,332</b>	<b>1,774,399</b>	<b>1,825,919</b>
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		<b>-7,044,451</b>	<b>4,243,060</b>	<b>4,343,117</b>	<b>4,430,520</b>	<b>4,519,001</b>
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>			-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>			-931,242	-968,620	-1,002,570	-1,037,229
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>-7,044,451</b>	<b>1,854,314</b>	<b>1,916,993</b>	<b>1,970,446</b>	<b>2,024,267</b>

<b>TASA DE DESCUENTO</b>	19.51%	
<b>VAN</b>	(411,674.17)	-2,244,909.15
<b>TIR</b>	17.40485732%	17.40%

**TABLA 5.19.2**  
**FLUJO DE CAJA VARIABLE ESCENARIO 4**

Concepto / Año		2018	2019	2020	2021	2022	2023
		5	6	7	8	9	10
Ingresos (Dolares)	Ingreso por pago de capacidad utilizada	6,488,549	5,308,729	5,429,689	5,536,577	5,646,161	5,758,517
	<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>6,488,549</b>	<b>5,308,729</b>	<b>5,429,689</b>	<b>5,536,577</b>	<b>5,646,161</b>	<b>5,758,517</b>
Egresos (Dolares)	Inversiones - CAPEX						
	Costos de operación y mantenimiento	1,283,545	1,310,522	1,338,848	1,368,590	1,399,820	1,432,611
	Sueldos Personal	596,470	626,294	657,608	690,489	725,013	761,264
	<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>1,880,015</b>	<b>1,936,816</b>	<b>1,996,456</b>	<b>2,059,079</b>	<b>2,124,833</b>	<b>2,193,875</b>
<b>FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS</b>		<b>4,608,534</b>	<b>3,371,913</b>	<b>3,433,232</b>	<b>3,477,498</b>	<b>3,521,328</b>	<b>3,564,643</b>
<b>FLUJO DE FINANCIAMIENTO</b>		-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505	-1,457,505
<b>FLUJO IMPOSITIVO</b>		-1,561,501	-1,199,462	-1,227,252	-1,250,396	-1,273,902	-1,297,772
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>1,589,528</b>	<b>714,947</b>	<b>748,475</b>	<b>769,597</b>	<b>789,921</b>	<b>809,366</b>

Elaboración: Propia

Con el objetivo de enriquecer el análisis de sensibilidad se aplicara un método probabilístico clásico que utiliza a la subfamilia de betas. Imponiendo una restricción a la familia global de betas de primera especie (que el recorrido de la variable esperada es seis veces la desviación típica), se consigue asignar en cada caso, la beta más apropiada de entre esa subfamilia e betas, con el objetivo básico de estimar una media. En la practica el método PERT por sus siglas en inglés “Program Evaluation and Review Technique” requiere que un experto asigne tres valores distintos (tiempo en el caso de tareas, y flujo de cajas en los casos financieros [59]).

Para aplicar esta metodología debemos designar valores optimistas, pesimistas y el más probable. Aplicando esta designación sobre los valores VAN obtenidos se desarrolló la siguiente tabla 5.20.

**TABLA 5.20**  
**MÉTODO PROBABILISTICO CLÁSICO DE LA SUBFAMILIA DE BETAS**

**Metodo PERT aplicado a los VAN de escenarios**

Escenario	Valor VAN	Decripción
4	(411,674.17)	Pesimista
1	242,917.29	Más probable
2	781,141.62	Optimista

Elaboración: Propia

El método que utilizaremos propone particularizar una beta a un caso concreto en el que los valores pesimistas, optimistas y más probables (a,b,m) ya son conocidos. Posteriormente determinamos un valor de que lo llamaremos valor de subasta (o valor promedio estimado) correspondiente a la siguiente ecuación. Donde  $k = 4$  ver [59].

$$s = \frac{a + km + b}{k + 2}$$

Por otro lado para calcular la desviación estándar utilizamos la siguiente formula. Donde los valores de b y a son conocidos.

$$\sigma = \frac{b - a}{6}$$

Finalmente el factor de confiabilidad al 95 % asumiendo una distribución normal, este factor corresponde a 1.9. Este valor es multiplicado por la desviación estándar, obteniendo el factor de desviación. Lo anteriormente descrito se puede apreciar en la siguiente tabla 5.21.

TABLA 5.21

**Cálculo Promedio Ponderado y  
Desviación Estándar**

<b>VAN Estimado</b>	<b>223,522.77</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>198,802.63</b>
<b>Factor de confiabilidad al 95%</b>	<b>1.9</b>
<b>Desviación por Factor</b>	<b>377,725.00</b>

Elaboración: Propia

Una vez realizado todos las operaciones obtenemos un valor de 377,725.00 que lo sumamos y restamos para obtener el rango de confianza ver tabla 5.22.

TABLA 5.22

**RANGO PARA EL VAN DEL PROYECTO**

<b>VAN</b>	<b>(154,202.24)</b>	<b>601,247.77</b>
------------	---------------------	-------------------

Elaboración: Propia

Los resultados muestran que existe suficiente margen de confianza para valores VAN dentro del rango y como se puede observar el VAN más probable se encuentra dentro del rango convirtiéndolo en una propuesta altamente confiable.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista financiero, el proyecto es viable obteniendo beneficios económicos y alcanzando un Valor Actual Neto (VAN) positivo además de una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior a la tasa de descuento propuesta de 19,51%.

El resultado del VAN y TIR obtenidos son producto de considerar un enfoque conservador en la estimación de los ingresos, tanto por:

- Las hipótesis utilizadas como la aproximación de precio de internet al promedio en el Perú por el mismo servicio y además considerando el ramal peruano se llevaría 1/3 del mercado de interconexión internacional boliviana
- El cálculo de los beneficios sobre la base de que los clientes beneficiados crecerán en un 40% dado que existe una disminución del costo del servicio respecto al salario mínimo nacional boliviano.
- Asimismo, se debe destacar que el resultado del VAN y TIR tampoco contempla los efectos indirectos positivos que podrán obtener las poblaciones aledañas (Perú) en general al poder obtener menores precios por las mejoras en la conectividad internacional. Esto corresponde a otro estudio que podría ser complementario a este.

Como se describió en el planteamiento del problema, es factible mejorar la penetración de internet incrementando la inversión en infraestructura de interconexión logrando disminuciones importantes en el precio de acceso de internet para la población del Estado Plurinacional de Bolivia, por lo tanto esto incrementara la penetración de banda ancha en la población.

El marco general del proyecto de tesis tiene que ser analizado como una alternativa que puede ser propuesta con la ayuda de convenios o acuerdos binacionales entre Bolivia y Perú, abriendo por completo una serie de iniciativas que mejoran la calidad de vida de ambos países reduciendo la brecha digital. Y de este modo establecer un diálogo productivo entre los interlocutores que juegan un rol relevante para el despliegue de la banda ancha en la región.

Sobre los trabajos futuros con relación a esta tesis, es claro que se necesita explorar más alternativas de comunicación con países vecinos, como son el caso de Brazil, Ecuador y Colombia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mariana Baldoni, Sebastian Rovira, Sebastian Vergara. "ICT in Latin America. United Nations CEPAL": p 41, Octubre 2009.
- [2] CEPAL Estado de la Banda Ancha en América Latina y El Caribe 2012.
- [3] ITU "World Telecommunication/ICT Indicators database." Enlace: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/wtid.aspx> , Junio 2012 [Junio 2013].
- [4] Comisión Multisectorial Temporal Encargada de Elaborar. "Plan Nacional para el Desarrollo de la Banda Ancha en el Peru".Versión "Online PDF" Vol 1, Julio 2010.
- [5] Banco Inter-Americano de Desarrollo "Construyendo puentes, creando oportunidades" p 10, 2012.
- [6] CEPAL División de Desarrollo Productivo y Empresarial  
[http://www.cepal.org/cgibin/getProd.asp?xml=/socinfo/agrupadores\\_xml/aes900.xml&xml=/socinfo/agrupadores\\_xml/agrupa\\_listado.xml&base=/socinfo/tpl/top-bottom.xml](http://www.cepal.org/cgibin/getProd.asp?xml=/socinfo/agrupadores_xml/aes900.xml&xml=/socinfo/agrupadores_xml/agrupa_listado.xml&base=/socinfo/tpl/top-bottom.xml), [Diciembre del 2012].
- [7] Nestor Bercovich. "Panorama y Perspectiva de la Banda Ancha en América Latina", Enlace:<http://www.eclac.org/socinfo/noticias/noticias/9/37699/presentacion-nestor-bercovich.pdf>, 2009, [Diciembre del 2012].
- [8] Longitud de onda de mantenimiento en fibras que transportan señales, ITU, 2000, Internet: <http://www.itu.int/rec/T-REC-L.41-200005-I> Última visita Diciembre del 2012.
- [9] Observatorio Regional de Banda Ancha (ORBA), "Estado de la Banda Ancha en América Latina y el Caribe, 2012", Noviembre 2012.
- [10] A. Garcia-Zaballos y R. López-Rivas. "Impacto socioeconómico de la banda ancha en los países de América Latina y el Caribe". Internet: <http://www.iadb.org/en/publications/publication-detail,7101.html?id=62086%20&dcLanguage=en&dcType=All> . BID, Noviembre 2012 [Noviembre, 2013].
- [11] Kelly Tim y Rossotto Carlo Maria. (2012) "Broadband Strategies Handbook", Development Association or The World Bank (Primera Edición), [Libro], Enlace: [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)
- [12] Tarifas del Servicio de Acceso a Internet, ATT, 2013.  
<http://att.gob.bo/index.php/telecomunicaciones/servicios-publicos/tarifas-de-internet?tmpl=component&print=1&layout=default&page>, Mayo 2013 [Junio,2013].

- [13] Banco Inter-Americano de Desarrollo “Construyendo puentes, creando oportunidades” p 33, 2012.
- [14] Hilton Heredia García. “ATT Proyecto bajar precio de Internet”. Internet: [www.eldeber.com.bo/att-proyecto-bajar-precio-de-internet/1305212222013](http://www.eldeber.com.bo/att-proyecto-bajar-precio-de-internet/1305212222013), 22 de Mayo , 2013 [10 de Junio, 2013].
- [15] Rajiv Ramaswami, Kumar N. Sivarajan, Galen H. Sasaki. Optical Networks a Practical Perspective. ELSEVIER. 2010. PP 1-5.
- [16] Telecommunication Standardization Sector of ITU. Transmission Media and Optical Systems Characteristics – Multichannel DWDM applications with Single-Channel.
- [17] Telnet Redes Inteligentes “FIBRA ÓPTICA PARA NGN - DISPERSIÓN CROMÁTICA Y PMD.
- [18] Artículo de Prensa sobre alquiler de transporte de capacidad a través del Satélite Túpac Katari, Enlace: <http://signalstelecomnews.com/index.php/contenidos-2/6746-bolivia--el-tupac-katari-vendera-capacidad-satelital-a-operadores-de-otros-mercados> ,24 de Abril del 2013, [30 de Octubre, 2013].
- [19] Lista de Operadores ISP en Bolivia, Enlace: <http://att.gob.bo/index.php/telecomunicaciones/servicios-publicos/operadores-servicios-publicos> , Septiembre del 2012, [Octubre, 2013].
- [20] Lista de Tarifas de Internet en Bolivia, Enlace: <http://att.gob.bo/index.php/telecomunicaciones/servicios-publicos/tarifas-de-internet> , Septiembre del 2012, [Noviembre, 2013].
- [21] Economía Bolivia, “Bolivia: El punto de interconexión de tráfico aumentará la velocidad del internet un 80%; las operadoras deberán acordar una forma de administrarlo”, Enlace: <http://www.economiabolivia.net/2013/06/26/bolivia-el-punto-de-interconexion-de-trafico-aumentara-la-velocidad-del-internet-un-80-las-operadoras-deberan-acordar-una-forma-de-administrarlo/> , Junio 2013, [Noviembre, 2013].
- [22] Economía Bolivia, “Bolivia: usuarios de “smartphones” se disparan un 500% en 12 meses”, Enlace: <http://www.economiabolivia.net/2013/06/27/bolivia-usuarios-de-smartphones-se-disparan-un-500-en-12-meses/>, Junio 2013, [Noviembre, 2013].
- [23] ST News, “Bolivia estudia interconexión con Argentina Conectada con el fin de disminuir costos de Internet”, Enlace: <http://www.signalstelecomnews.com/index.php/contenidos-2/4708-bolivia-estudia-interconexion-con-argentina-conectada-con-el-fin-de-disminuir-costos-de-internet>, Enero 2013, [Noviembre, 2013].



- [24] Pagina Siete, “Un 83% de los bolivianos tiene un teléfono celular”, Enlace: <http://www.paginasiete.bo/nacional/2013/11/10/bolivianos-tiene-telefono-celular-5636.html>, 10 de Noviembre 2013, [Noviembre 2013].
- [25] Reglamento de la Ley nro 29904, Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, Enlace: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3256.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3256.pdf), 5 de Noviembre 2013, [Noviembre 2013].
- [26] Galperin, Hernan and Ruzzier, Christian A., “Broadband Tariffs in Latin America: Benchmarking and Analysis” (January 1, 2011). Disponible en SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1832737> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1832737> , [Noviembre 2013].
- [27] Buelvas Dulio, Téllez Iván, Mateus Edgar, “Redes Optivas DWDM: Diseño e Implementación” (Septiembre, 2009), Enlace: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/272> , [Noviembre, 2013].
- [28] George Young, Yoshinori Koike , (2010), “Redes Ópticas de Transporte” (Manual ITU), [On line], enlace: <http://www.itu.int/pub/T-HDB-IMPL.08-2010/es> , [Noviembre, 2013].
- [29] Chomycz Bob, (2009),”Planning Fiber Optic Networks” (Mc Graw Hill, 2009)
- [30] ITU-T, (10-2012), “Architecture of optical transport networks”, Enlace:<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.872-201210-I/en>, [Diciembre, 2013].
- [31] Instituto Nacional de Estadísticas (2012), “resultados del Censo de Población y Vivienda del 2012” Enlace: <http://www.ine.gob.bo/>, [Diciembre, 2013].
- [32] Resolución Ministerial N° 123-2011-MTC/03, “Estimación del número de hilos de fibra óptica para el Estado”, Enlace: <http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/normaslegales/Serviciospublicos.html>, [Diciembre, 2013].
- [33] Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, Enlace: <http://www.oopp.gob.bo/>, [Diciembre, 2013].
- [34] Viceministerio de Telecomunicaciones, Enlace: <http://190.129.95.115/vmtel/>, [Diciembre, 2013].
- [35] La Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes (ATT), Enlace: <http://www.att.gob.bo/>, [Diciembre , 2013].

- [36] El periódico “El Día” publico “Según la ATT el internet por celular en Bolivia es el más barato de Latinoamérica”, Enlace: [http://www.eldia.com.bo/index.php?cat=1&pla=3&id\\_articulo=127539](http://www.eldia.com.bo/index.php?cat=1&pla=3&id_articulo=127539), [Diciembre, 2013]
- [37] Recomendaciones ITU: G.692, G.850, G.691, G.957, G.959.1
- [38] World Development Indicators, Banco Mundial, Enlace: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>, [Diciembre, 2013].
- [39] Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Enlace: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/index.html>, [Diciembre, 2013].
- [40] Informe Técnico de la Red Dorsal, Pro inversión, Enlace: <http://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=5682&SEC=24>, [Diciembre, 2013].
- [41] Hernán Galperin (Agosto, 2012), Precios y calidad de la banda ancha en América Latina: Benchmarking y Tendencias [pdf], Enlace: [https://www.udesa.edu.ar/files/AdmTecySociedad/12\\_galperin.pdf](https://www.udesa.edu.ar/files/AdmTecySociedad/12_galperin.pdf) [Febrero, 2014].
- [42] Plan Estratégico Institucional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2012-2016, (Octubre, 2012), Enlace: <https://www.mtc.gob.pe/portal/home/transparencia/PEI-MTC-2012-2016.pdf>, [Febrero, 2014].
- [43] CEPLAN (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico), Enlace: <http://www.ceplan.gob.pe/ceplan/vision-mision>, [Febrero, 2014].
- [44] Galperin, Hernan, “Los precios de la conectividad en América Latina y el Caribe” (Agosto, 2013) [PDF], Enlace: <http://www.udesa.edu.ar/files/AdmTecySociedad/15%20Galperin.pdf>, [Marzo, 2014].
- [45] Instituto Peruano de Economía (IPE), Enlace: <http://ipe.org.pe/documentos/el-reto-de-la-infraestructura-al-2018>, [Marzo, 2014].
- [46] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones MTC, “Estadísticas de Servicios Públicos de Telecomunicaciones a Nivel Nacional”, (Marzo, 2011), Enlace: <http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/estadisticas/Servicios%20P%C3%BAblicos%20de%20Telecom%20%20I%20Trim.%202011.pdf>, [pp 48-58], [Marzo, 2014].
- [47] MTC (Enero, 2013), Red dorsal Ideal, Enlace: [http://www.mtc.gob.pe/portal/fibraoptica/RED\\_DORSAL\\_IDEAL\\_VF.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/fibraoptica/RED_DORSAL_IDEAL_VF.pdf), [Marzo, 2014].

[48] Raúl Perez-Reyes, (Enero, 2013), “Acceso a Internet de Banda Ancha en el Perú”, Enlace [http://unctad.org/meetings/en/Presentation/cstd2013\\_Reyes%20Espejo.pdf](http://unctad.org/meetings/en/Presentation/cstd2013_Reyes%20Espejo.pdf), [Marzo, 2014].

[49] Dirección General de Regulación y Asuntos Internacionales de Comunicaciones, (Marzo, 2011), “Diagnóstico Sobre el Despliegue de las Redes de Transporte de Fibra óptica para Prestar Servicios Públicos de Telecomunicaciones en el País”, Enlace: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/5235D767E915B6A805257C3C0077B1B2/\\$FILE/Diagnostico\\_fibra\\_optica\\_para\\_web\\_final.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5235D767E915B6A805257C3C0077B1B2/$FILE/Diagnostico_fibra_optica_para_web_final.pdf), [Marzo, 2014].

[50] MTC (Diciembre, 2012), “Anuario Estadístico 2012”, Enlace: [http://mtcgeo2.mtc.gob.pe/ANUARIO/ANUARIO\\_ESTADISTICO\\_2012.pdf](http://mtcgeo2.mtc.gob.pe/ANUARIO/ANUARIO_ESTADISTICO_2012.pdf), [Marzo, 2014].

[51] MTC (Diciembre, 2012), “Mapa de Fibra Óptica Instalada a 2012”, Enlace: [http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/files/mapas/comunicaciones/fibra\\_optica\\_instalada\\_2012.pdf](http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/files/mapas/comunicaciones/fibra_optica_instalada_2012.pdf), [Marzo, 2014].

[52] FITEL (Abril, 2014). “Plan Annual y Proyectos y/o Programas 2013”. Enlace: <http://www.fitel.gob.pe/archivos/FI51acfd3da340c.pdf>, [Abril, 2014].

[53] Proyectos de Inversión (Diciembre, 2013), Enlace <http://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=5682&SEC=24>, [Abril, 2014].

[54] Desarrollo del Proyecto de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (Diciembre, 2013). Enlace: <http://www.fitel.gob.pe/pg/proyectos-formulacion.php>, [Abril, 2014].

[55] Instalación de Banda Ancha para la Conectividad Integral y Desarrollo Social de la Región Tacna (Febrero, 2014), Enlace: <http://www.fitel.gob.pe/archivos/FI5293e0e35cbd0.pdf>, [Abril, 2014].

[56] Instalación de Banda Ancha para la Conectividad Integral y Desarrollo Social de la Región Moquegua (Febrero, 2014), Enlace: <http://www.fitel.gob.pe/archivos/FI5293e0aae49f6.pdf>, [Abril, 2014].

[57] Tasa de Crecimiento Actual Compuesto, (Junio, 2014), Enlace: [http://es.wikipedia.org/wiki/Tasa\\_de\\_crecimiento\\_anual\\_compuesto](http://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_de_crecimiento_anual_compuesto), [Junio, 2014].

[58] Clase de Economía y Administración Estratégica Aplicada a las Telecomunicaciones, Patricia Díaz Ubillús, [Mayo, 2014].

[59] Estudio de Economía Aplicada, “El método de subasta como complemento al PERT clásico”, Garcia Perez J., Universisadas de Almeria, (Nro 10, 1998, Paginas 71- 88).